



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky**

Návrh kogeneračního systému pro menší průmyslový objekt

Project of a cogeneration system for a small industrial building

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, Energetika, Management
Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Vít Klein, Ph.D.

Martin Bříza

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Břiza** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **406185**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh kogeneračního systému pro menší průmyslový objekt

Název diplomové práce anglicky:

Project of a cogeneration system for a small industrial building

Pokyny pro vypracování:

- 1) Principy kogeneračních systémů
- 2) Popis vybraného průmyslového objektu
- 3) Optimalizovaný návrh kogeneračního systému
- 4) Ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

- [1] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
[2] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky - zřizování a provoz. Praha: GAS, 2007. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9.
[3] IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-026-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Vít Kleín Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **17.02.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

„ Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací. “

V Praze dne 22.5. 2017

.....

Abstrakt

Cílem této práce je návrh kogeneračního zdroje pro konkrétní průmyslový výrobní objekt. V teoretické části je rozebrán samotný princip kogeneračních systémů, popis vybraných druhů kogeneračních systémů a jejich možné uplatnění. V praktické části je vytvořen návrh kogeneračního systému s kogeneračními jednotkami, jakožto náhrada za CZT, včetně ekonomického zhodnocení. V poslední části je vytvořen paralelní návrh ke kogeneračním jednotkám pouze se standardními zdroji tepla.

Klíčová slova

Kogenerace, kogenerační systém, kogenerační jednotka

Abstrakt

The aim of this work is to design a cogeneration system for a particular industrial object. The theoretical part analyzes the principle of cogeneration systems, description of selected types of cogeneration systems and their possible use. The practical part is the design of a cogeneration system with cogeneration units, including economic evaluation. The last part is designed with standard heat sources.

Key words

Cogeneration, cogeneration system, cogeneration unit

Poděkování

Děkuji Vítu Kleinovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a za poskytnutí řadu cenných rad k vypracování mé práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Backer Elektro a.s. za umožnění tvorby diplomové práce a za poskytnutí všech potřebných informací potřebných k vypracování této práce.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	10
Seznam obrázků a grafů	11
Seznam tabulek	12
Úvod.....	13
1. Kombinovaná výroba energií	14
1.1. Elektrická a tepelná energie	14
1.2. Definice kombinované výroby energií.....	14
1.3. Princip kogenerace.....	15
1.4. Výhody kogenerace.....	15
1.5. Rozdělení kogeneračních systémů.....	16
1.6. Druhy kogeneračních technologií	17
1.7. Paliva pro KVET	18
1.7.1. Rozdělení paliv.....	19
1.8. Hodnocení KVET.....	21
1.8.1. Energetické parametry KJ.....	22
1.8.2. Účinnost přeměny primárního paliva	23
1.8.3. Rozměrové parametry.....	25
1.8.4. Environmentální parametry	25
1.9. Popis vybraných kogeneračních technologií	26
1.9.1. Kogenerace s parní turbínou.....	26
1.9.2. Kogenerace s plynovou turbínou.....	27
1.9.3. Kogenerace s paroplynovým zařízením	29
1.9.4. Kogenerace s pístovým spalovacím motorem.....	31
1.9.4.1 Základní části kogeneračních jednotek.....	33
1.10. Speciální druhy kogeneračních zařízení	37

1.10.1.	Mikroturbína	37
1.10.2.	Stirlingův motor	37
1.10.3.	Zdroje s palivovými články	39
1.11.	Druhy provozu kogeneračních jednotek	40
1.12.	Dimenzování výkonu kogenerační jednotky	43
1.13.	Ekonomická kritéria efektivity investice	44
1.14	Podpora kogeneračních jednotek.....	46
2.	Popis vybraného průmyslového objektu.....	47
2.1.	Historie a vývoj Backer Elektro CZ a.s.	47
2.2.	Současný stav.....	49
2.2.1.	Spotřeba elektrické energie v objektu	49
2.2.1.	Spotřeba tepelné energie v objektu.....	50
2.2.3.	Zemní plyn	50
2.2.4.	Stlačený vzduch	51
3.	Návrh kogenerační jednotky	52
3.1.	Přípojka zemního plynu.....	52
3.2.	Návrh kogeneračního systému	52
3.2.1.	Použité kogenerační jednotky:	53
3.2.2.	Vybraný kondenzační plynový kotel:.....	55
3.2.3.	Výpočet výroby elektrické a tepelné energie	56
3.3.	Ekonomické zhodnocení	58
3.3.1.	Výpočet úspor	58
3.3.2.	Výpočet provozních nákladů	58
3.3.3.	Investiční náklady.....	59
3.3.4.	Ekonomické hodnocení efektivity investice projektu	60
4.	Návrh vlastního zdroje CZT	61

4.1. Přípojka zemního plynu	61
4.2. Použité plynové kotle.....	61
4.3. Ekonomické hodnocení	62
4.3.1. Výpočet úspor	62
4.3.2. Výpočet nákladů.....	62
4.3.3. Investiční náklady.....	63
4.3.4. Ekonomické hodnocení efektivnosti investice projektu	63
Závěr.....	65
Použitá literatura	67
Seznam příloh.....	69

Seznam symbolů a zkratk

CZT- Centrální zásobování teplem

KVET – Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

LDS – Lokální distribuční soustava

NT – Nízkoteplotní

NTL - Nízkotlaký

STL – Středotlaký

VT – Vysokoteplotní

Seznam obrázků a grafů

Obr. 1: Porovnání spotřeby paliva při KVET a oddělené výroby

Obr. 2: Schéma kogenerace pomocí parní protitlaké turbíny

Obr. 3: Schéma kogenerace s plynovou turbínou

Obr. 4: Schéma kogenerace se spalovacím motorem

Obr. 5: Příklad kogenerační jednotky od firmy Tedom

Obr. 6: Cyklus Stirlingova motoru

Obr. 7: Základní princip činnosti palivového článku

Obr. 8: Platné zelené bonusy pro KVET

Obr. 9: Firma Backer Elektro CZ, čelní pohled

Obr. 10: Firma Backer Elektro CZ, letecký pohled na výrobní halu

Obr. 11: Plánované umístění kogeneračních jednotek

Obr. 12: Plynový kondenzační kotel Thermona Therm 90 KD.A

Graf 1: Spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících za poslední 3 roky

Graf 2: Spotřeba tepla v jednotlivých měsících za poslední 3 roky

Graf 3: Znázornění situací provozu kogeneračních jednotek a plynového kotle

Seznam tabulek

Tab. 1.: Základní technická data kogenerační jednotky Tedom Cento T80

Tab. 2: Parametry kondenzačního kotle Thermona Therm 90 KD.A

Tab. 3.: Investiční náklady projektu s kogeneračními jednotkami

Tab. 4.: Ekonomické hodnocení efektivnosti investice projektu bez započítání zeleného bonusu

Tab. 5.: Ekonomické hodnocení efektivnosti investice projektu se započítáním zeleného bonusu

Tab. 6.: Investiční náklady projektu s vlastní plynovou kotelnou

Tab. 7.: Ekonomické hodnocení efektivnosti projektu s vlastní plynovou kotelnou

Úvod

V současné moderní době jsou potřeby elektrické energie a užitného tepla zcela jistě neoddiskutovatelné. A její zvyšující se charakter rovněž tak. Elektrickou energii lze považovat za nejuniverzálnější druh energie, nicméně při výrobě elektrické energie dochází ke značným energetickým ztrátám. Jednou z možných cest jak zvýšit účinnost přeměny z primárních paliv je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (KVET), kdy za vhodných podmínek lze užitečně využít menší či větší část odpadního tepla z výroby elektrické energie. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla je obecně uznávaným prostředkem, který vede k úsporám spotřeby primární energie, snížení zatížení životního prostředí, snížení celkové emise škodlivých látek jako jsou například oxid siřičitý, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxidy dusíku (NO_x) a prachových částic. Dále také díky umístění výroby blíže ke spotřebě, jsou i ztráty přenosem daleko menší.

Podpora rozvoje KVET je deklarována ve Státní energetické koncepci, také v Státní politice životního prostředí, a je uvedena v energetickém zákoně č. 458/2000 Sb. KVET našla svoji oporu i v evropské legislativě, ve směrnici Evropského parlamentu a Rady Evropské Unie 2004/8/ES o podpoře KVET.

Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla, či jinak zvaná kogenerace, může mít mnoho podob a uplatnění. Můžeme se setkat se zdroji několika stovek MW (tepelné elektrárny) nebo též s malými jednotkami řádově několik desítek kW (spalovací motory, mikroturbíny).

1. Kombinovaná výroba energií

1.1. Elektrická a tepelná energie

Elektrická a tepelná energie jsou dvě zcela odlišné energetické formy. Hlavní velmi výrazná odlišnost je v možnostech jejich použití, ale liší se také například výrobními náklady, technickou obtížností jejich výroby, distribucí apod. [2]

Elektrickou energii lze považovat za nejkvalitnější formu energie, kterou lze všestranně používat a téměř beze ztrát převádět na jiné formy energií, např. na energii tepelnou, mechanickou apod. Výroba elektrické energie se převážně provádí přeměnou tepelné energie uvolněné z primárních energetických zdrojů. Přičemž tato přeměna lze uskutečnit pomocí platnosti druhého zákona termodynamiky, ale jen s jistou účinností a podstatná část tepelné energie se musí bez dalšího užitku odvést do atmosféry. Například v uhelných parních elektrárnách se pohybuje účinnost přeměny kolem 30%, z toho vyplývá, že více než 50% uvolněné energie se vypouští do okolí elektrárny[2].

Tepelnou energii lze považovat za méně hodnotnou formu energie, protože její využití je omezené a její přeměna na jiný druh energie je technicky obtížná a tato přeměna může být provedena jen omezeně. Avšak její získání z primárních energetických zdrojů, především v teplotně nízko potenciální oblasti, je technicky poměrně jednoduché a nízkonákladové. Toto je samozřejmě faktor, který vede investory pro zajištění potřeb tepla a teplé vody tímto způsobem.

1.2. Definice kombinované výroby energií

„Kombinovaná výroba energií je společná (integrovaná) postupná nebo současná produkce konečných forem energií přeměněných z primární formy v transformačních řetězcích a připravených k využití přímo u spotřebitele. Nejčastějšími formami koncových energií využívaných ve spotřebě je elektrická a tepelná energie, tato

výroba se nazývá kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET) nebo kogenerace“¹.

Systém, který zajišťuje výrobu a dopravu elektrické a tepelné energie o požadovaných parametrech se nazývá kogenerační systém. Systém, ve kterém se část tepelné energie používá k odnímání tepla jinému mediu, se nazývá trigenerační systém – trigenerace [1].

1.3. Princip kogenerace

Princip kogenerace spočívá v tom, že se při procesu přeměny energie z paliva využije vysokopotenciální tepelná energie k vykonání práce (výroba elektrické energie) a teprve poté se pracovní látka o nižší teplotě využívá pro dané potřeby tepla. [2] [4]

1.4. Výhody kogenerace

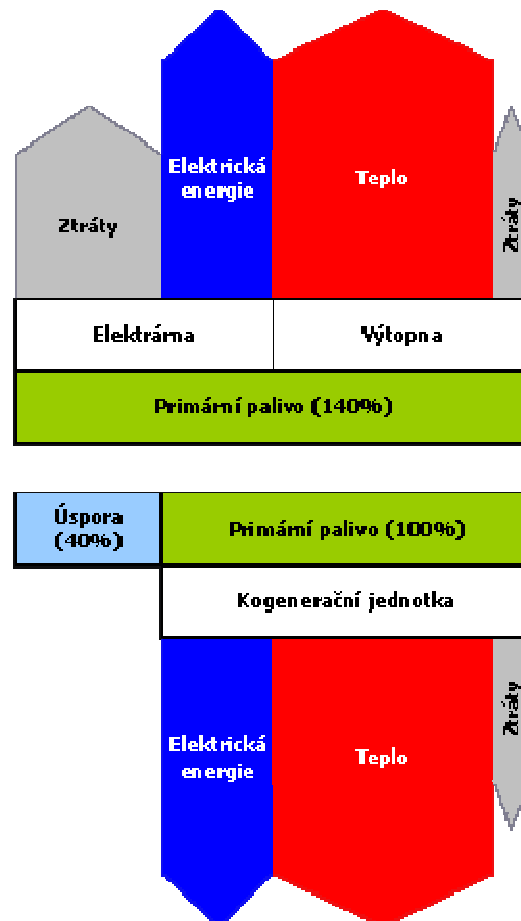
Kombinovaná výroba energie nese vítaný následek a to zvýšení účinnosti využívání primárních zdrojů oproti samostatné (oddělené) výrobě tepelné nebo elektrické energie a tudíž i snížení spotřeby těchto primárních zdrojů. Tento fakt způsobuje následné zmenšení škodlivých emisí vznikajících při těchto přeměnách. Při vhodně zvolené konfiguraci a provozu kogeneračního systému mohou být i provozní náklady menší než u oddělených systémů. Lze najít širokou škálu uplatnění KVET pro různé typy aplikací díky vhodně zvolené konfiguraci a optimalizaci kogeneračních systémů.

Charakteristické výhody KVET:

- Společná produkce elektrické a tepelné energie v jednom systému, což vede ke zvýšení účinnosti využití primárního paliva,
- Možnost umístění výroby v nedaleko od místa spotřeby, což má za následek snížení ztrát vzniklých přenosem a distribucí,

¹ DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, s.15. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.

- Snadná propojitelnost na existující na stávající a plánované technologie v různých aplikacích v průmyslovém, komerčním a bytovém sektoru,
- Omezení znečištění životního prostředí. [1][2][4]



Obr. 1: Porovnání spotřeby paliva při KVET a oddělené výroby [11]

1.5. Rozdělení kogeneračních systémů

Kogenerační systém je tvořen kogenerační jednotkou spolu s dopravou, spotřebou jednotlivých druhů energií. Tyto kogenerační jednotky mohou být rozděleny podle různých hledisek. Základním hlediskem je pořadí využívání produkovaných energií. Podle tohoto kritéria rozlišujeme tyto kogenerační systémy:

- Horní kogenerační systémy,
- Dolní kogenerační systémy.

V horních kogeneračních systémech dochází prvotně k získání tepelné energie v energetickém zařízení. Získané teplo, které má vysoké parametry, je použito například pro technologické procesy a poté zpět přivedeno do energetického zařízení (tepelný motor), tam se získá mechanická energie, která je převedena na energii elektrickou. Odvedené teplo je možné dále využít, případně bude představovat ztráty při přeměně energie. Tyto systémy mají menší využití, neboť pro efektivní zisk elektrické energie je nutný vysoká vstupní teplota do vstupního oběhu. V dolních kogeneračních systémech se naopak nejprve vyrábí elektrická energie a tepelná energie se získá z odvedeného tepla z oběhu. [1]

1.6. Druhy kogeneračních technologií

V současné době existuje velké množství kogeneračních technologií, které umožňují jejich aplikaci přesně podle požadavků odběru energií. Každý kogenerační zdroj se skládá z těchto základních částí:

- Motor (pohonná jednotka),
- Elektrický alternátor včetně zapojení na spotřebitelskou nebo distribuční síť,
- Kotle nebo výměníku tepla včetně zapojení na tepelnou distribuční síť,
- Kontrolní a řídicí jednotky.

V současné době patří mezi nejpoužívanější pohony kogeneračních jednotek tyto pohony:

- Parní turbíny,
- Spalovací turbíny,
- Spalovací motory,

- Paroplynová kombinovaná zařízení.

S vývojem a přibývajícími novými technologiemi se objevují nové možnosti pro pohony kogeneračních jednotek:

- Stirlingovy motory,
- Mikroturbíny,
- Zařízení využívající organický cyklus (ORC),
- Parní motory,
- Palivové články.

Zařízení dovolující přípravu nových paliv (obnovitelných) pro použití v kogeneračních jednotkách:

- Zplyňovací zařízení,
- Zařízení pro rychlou pyrolýzu,
- Zařízení vyrábějící bioplyn.

Některé nové zařízení, které je možné využít pro rozšíření kogeneračních jednotek:

- Tepelná čerpadla,
- Absorpční chladicí zařízení. [2] [3]

1.7. Paliva pro KVET

Pro výběr druhu paliva pro KVET existuje mnoho kritérií. Mezi tyto kritéria patří jeho dostupnost, podmínky oxidace, cena, náklady spojené s dopravou a skladováním, nutnost úpravy, likvidace nespalitelných složek apod. Výběr paliva je výrazně ovlivněn druhem použité kogenerační technologie, technickými, provozními, ekonomickými a ekologickými požadavky, které jsou požadovány na provoz kogeneračních jednotek. V některých případech je řešení zcela obrácené, kde palivo

je výchozím stavem při rozhodování a je hledáno jeho nejvhodnější energetické využití. [1]

1.7.1. Rozdělení paliv

Rozdělení paliv je možné provádět dle mnoha způsobů. Může být provedeno např. na základě jejich fyzikálních vlastností, původu vzniku, energetického obsahu, vlivu na životní prostředí atd. Pro paliva pro využití v kogeneračních jednotkách je důležité rozdělení podle:

- Typu paliva,
- Druhu paliva,
- Dostupnosti.

1) Dle typu paliva

Typ paliva respektuje původ vzniku a rozděluje paliva na:

- Fosilní paliva,
- Biopaliva,
- Alternativní paliva.

Fosilní paliva jsou nerostné suroviny organického původu s relativně vysokým energetickým obsahem. Mezi tyto paliva patří uhlí, ropa, zemní plyn. Fosilní paliva vznikla v období prvohor a druhohor přeměnou odumřelých organismů při nepřístupu vzduchu.

Biopaliva jsou získávány z biomasy, což je organická hmota rostlinného a živočišného původu.

Alternativní paliva jsou např. vodík, jaderné palivo apod. Tyto paliva jsou převážně ve stádiu ověřování možnosti jejich využití.

2) Druh paliva

Druh paliva respektuje základní fyzikální vlastnosti látek (skupenství). Paliva lze rozdělit na paliva:

- Tuhá (pevná),
- Kapalná,
- Plynná.

Nevýhodou tuhých paliv je jejich malý energetický obsah, tudíž pro získání požadovaného množství energie je zapotřebí velký objem paliva. Dále obsahují velké procento neoxidačních příměsí a látek, které znečišťují životní prostředí. Za tuhá paliva lze uvažovat:

- Černé uhlí a paliva z něj vyrobená (brikety, koks a další produkty),
- Hnědé uhlí a paliva z něj vyrobená (brikety, polokoks a další produkty),
- Rašelinové brikety nebo palivová rašelina,
- Přírodní kusové dříví a zbytkové produkty při těžbě,
- Přírodní nekusové dřevo i ve formě briket, štěpky, pilin nebo dalších produktů,
- Biomasu.

Pevná paliva nelze použít přímo pro kogenerační jednotky, které pracují s vnitřním spalováním.

Kapalná paliva mají na rozdíl od tuhých paliv vysoký energetický obsah. Při jejich optimálním spalování vzniká podstatně méně emisí než při spalování tuhých paliv. Nároky a požadavky na bezpečnost při jejich skladování a manipulaci jsou vysoké. Za kapalná paliva lze požadovat:

- Kapalné produkty zpracování zemního plynu,
- Plynový olej,

- Střední olej,
- Těžký topný olej,
- Methanol nebo ethanol a jiné čisté kapalné uhlovodíky,
- Kapalné produkty získané při zpracování uhlí, ropy, oleje (syntetické / dehtové oleje)

Plynná paliva lze rozdělit:

- Plynné produkty zpracování zemního plynu, uhlí, ropy a oleje,
- Zemní plyn, propan či butan nebo jejich směs a jiné čisté plynné uhlovodíky,
- Koksárenský plyn, degazační plyn (plyn uvolněný při těžbě černého uhlí), vysokopeční plyn, konvertorový plyn, bioplyn, plyn z rafinerií, syntézní plyn s obsahem síry do 0,1 %, jiné průmyslové plyny s obsahem síry do 0,1 %.

3) Dostupnost

Dostupností rozumíme možností pořízení na trhu, rozlišujeme paliva:

- Komerční,
- Nekomerční.

1.8. Hodnocení KVET

Hodnocení KVET se provádí pomocí určitých ukazatelů, které jsou schopny charakterizovat základní vlastnosti kogenerační výroby a pomocí nichž lze jednoduše porovnávat jednotlivé energetické výrobní řetězce. Hlavními znaky jsou účinnost transformace primárních zdrojů, provozní náklady na výrobu konečných forem

energie a vliv na životní prostředí. V případě KVET je vhodné provést analýzu vhodnosti instalace a provozu vůči jiným možnostem zajištění požadované spotřeby či dodávky energií, zejména proti oddělené výrobě tepelné a elektrické energie. Tyto ukazatele by měly zejména prokázat:

- Zvýšení využití primárních zdrojů,
- Omezení vlivu znečištění,
- Snížení ztrát při energetické dopravě.[1]

1.8.1. Energetické parametry KJ

Parametry, které udávají energetické možnosti transformačního řetězce, jsou:

- Elektrický výkon,
- Tepelný výkon,
- Poměr elektrického a tepelného výkonu,
- Kvalita tepelné energie.

Elektrický výkon (P_E) je okamžitá hodnota, kterou je schopna kogenerační jednotka dodávat. Tato hodnota může být regulována v regulačním rozsahu od minimální hodnoty výkonu až po maximální hodnoty výkonu, dle aktuální potřeby pokrytí denního diagramu zatížení. Jmenovitá hodnota výkonu představuje hodnotu, při níž výroba probíhá s maximální účinností a provoz KJ je nejhospodárnější. U malé a střední KJ je maximální hodnota výkonu shodná s hodnotou jmenovitou.

Tepelný výkon (P_T) je okamžitá hodnota, kterou lze z dané kogenerační jednotky užitečně využít pro dodávku tepla. Množství odebírané tepelného výkonu je závislé na množství vyráběné elektrické energie. Pokud není odběr tepelné energie a je požadavek na výrobu elektrické energie, je nutné zajistit odvod nevyužitého tepla mimo kogenerační jednotku do okolního prostředí.

Poměr elektrického a tepelného výkonu (σ) je poměr elektrické práce (E) a užitečně využitého tepla (Q_{UV}) vyrobené kogenerační jednotkou. Tento parametr charakterizuje možnosti kombinované dodávky kogenerační jednotky. Lze ho popsat rovnicí:

$$\sigma = \frac{E}{Q_{UV}} = \frac{P_E}{P_T} = \frac{P_{E,\%}}{P_{T,\%}} = \frac{E_{\%}}{Q_{UV,\%}} [-],$$

Kde:

$P_{E,\%}$ - procentní zastoupení elektrického výkonu na celkovém výkonu KJ [%],

$P_{T,\%}$ - procentní zastoupení tepelného výkonu na celkovém výkonu KJ [%],

$E_{\%}$ - procentní zastoupení vyrobené elektrické energie na celkové výrobě KJ [%],

$Q_{UV,\%}$ - procentní zastoupení vyrobené elektrické energie na celkové výrobě KJ [%].

V teplárenství je tento parametr nazýván jako modul teplárenské výroby elektrické energie. Je důležitý zejména pro volbu velikosti kogenerační jednotky (instalovaného elektrického výkonu a tepelného výkonu). Účinnost výroby tepelné i elektrické energie se může výrazně lišit, a proto má σ výrazný vliv na vyhodnocení účinnosti kogenerační jednotky při porovnání s oddělenou výrobou energií.

Kvalita tepelné energie je dána její formou. Rozhodujícím kritériem je teplota. Teplo tudíž lze charakterizovat jako nízkopotenciální a vysokopotenciální. Nízkopotenciální teplo lze převážně akumulovat do vody pro teplárenské účely. Vysokopotenciální teplo má širší uplatnění, lze ho využít pro průmyslové použití (např. pro různé technologické procesy apod.). Kogenerační technologie mají různé limitní teploty, kterých lze dosáhnout při transformaci a využít pro dodávku tepla.[1]

1.8.2. Účinnost přeměny primárního paliva

Účinnost transformace je vždy dána poměrem výstupní a vstupní formy energie určitého energetického systému. S ohledem na vyrobené energetické formy se definují tyto účinnosti:

- Elektrická účinnost,
- Tepelná účinnost,
- Celková účinnost.

Elektrická účinnost η_E je účinnost transformace energie dodané v palivu na elektrickou energii. Elektrická účinnost je dána vztahem:

$$\eta_E^{KVET} = \frac{E}{Q_{pal}} = \frac{E}{m_{pal} * Q_i} = \frac{P_E}{M_{pal} * Q_i} [-],$$

Kde:

m_{pal} – hmotnost paliva [kg]

M_{pal} – hmotnostní tok paliva [kg/s]

Q_i – energie v hmotnostní jednotce paliva (výhřevnost) [J/kg].

Hodnota jmenovité elektrické účinnosti je závislá na daném typu kogenerační technologie a mění se v závislosti na hodnotě elektrického výkonu P_E . Jednotky s vyšším výkonem mívají zpravidla i vyšší účinnost.

Tepelná účinnost η_T je účinnost transformace energie dodané v palivu na užitečně využitou tepelnou energii. Tepelná účinnost je dána vztahem:

$$\eta_T^{KVET} = \frac{Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{Q_{UV}}{m_{pal} * Q_i} = \frac{P_T}{M_{pal} * Q_i} [-].$$

Celková účinnost η_c je účinnost transformace energie dodané v palivu na užitečně využitou energii. Je dána součtem jednotlivých účinností.

$$\eta_c^{KVET} = \eta_E^{KVET} + \eta_T^{KVET} = \frac{E+Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{E+Q_{UV}}{m_{pal}*Q_i} = \frac{P_E+P_T}{M_{pal}*Q_i} [-] \cdot [1]$$

1.8.3. Rozměrové parametry

Rozměrové parametry jsou dány prostorovými, instalačními, nebo stavebními nároky kogenerační jednotky, kterou tato technologie potřebuje pro realizaci požadovaného elektrického výkonu a tepelného výkonu. Příslušné parametry, které lze mezi sebou porovnávat, jsou požadované hodnoty elektrického výkonu (energetická hustota) vztaženého na:

- Jednotku plochy [W_E / m^2],
- Jednotku objemu [W_E / m^3],
- Jednotku hmotnosti [W_E / kg]. [1]

1.8.4. Environmentální parametry

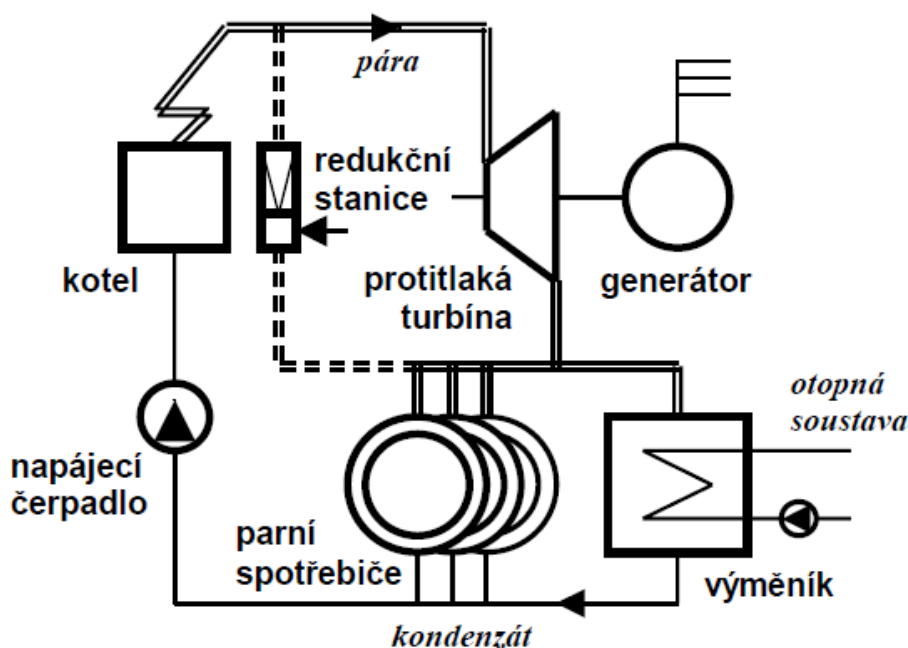
Provozováním kogenerační jednotky je ovlivňováno okolní životní prostředí, jsou produkovány škodlivé látky, které v menší či ve větší míře přispívají k znečištění životního prostředí. Kogenerační jednotky dodávané výrobcí provozovatelům musí splňovat platné směrnice a vyhlášky vydané ministerstvy a jinými příslušnými úředními správními úřady na základě platnosti zákonů. Účinky způsobené provozem kogeneračních jednotek lze rozdělit na účinky:

- Jedovatých látek v plynných látkách (spalinách),
- Jedovatých látek v tuhých odpadních látkách,
- Mechanické energie,
- Tepelné energie. [1]

1.9. Popis vybraných kogeneračních technologií

1.9.1. Kogenerace s parní turbínou

Kogenerace s parní turbínou je klasické teplárenské schéma, které je hlavně používané v průmyslu. Hlavními komponentami jsou parní kotel, kde se vytváří přehřátá pára, a protitlaká (odběrová turbína), která pohání elektrický generátor. Expanze páry v turbíně nedochází až do konce, jako je tomu v klasických kondenzačních elektrárnách ale je ukončena dříve, při teplotě a tlaku, které ještě umožňují využití jejího kondenzačního tepla pro vytápění či technologii. Hodnota protitlaku se volí většinou od hodnoty 0,15 MPa, kdy je teplota páry kolem 110 °C. Elektrárna sice vyrábí méně elektrické energie, nicméně celková účinnost je daleko vyšší díky produkci tepelné energie. Tento způsob dodávky tepla je spíše výhodný pro technologické procesy, pro přímé vytápění je méně vhodná, tento fakt se řeší doplněním výměníku tepla. [3]



Obr. 2: Schéma kogenerace pomocí parní protitlaké turbíny [12]

Shrnuté specifické vlastnosti kogeneračních systémů s parní turbínou:

Výhody:

- Lze použít libovolné palivo,
- Dodávka tepla v libovolné formě – horká voda, pára (VT nebo NT),
- Veliký rozsah výkonů,
- Vysoká účinnost kogeneračního systému,
- Vysoká životnost.

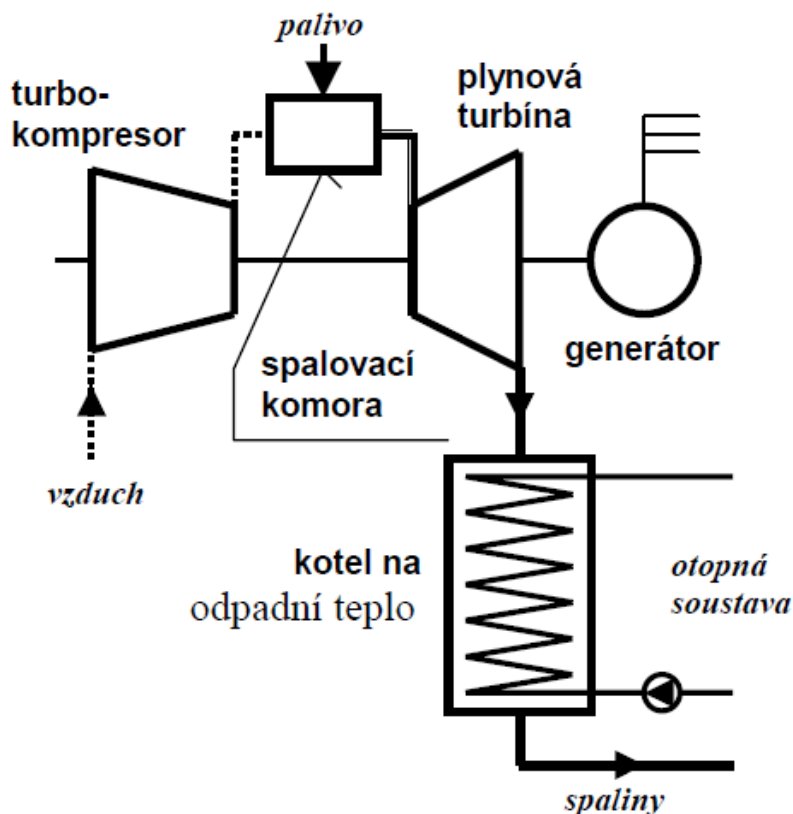
Nevýhody:

- Malý poměr elektrického a tepelného výkonu,
- Pomalé najíždění a změny požadovaného výkonu,
- Složitost,
- Vysoké požadavky na zastavěnou plochu celého kogeneračního zařízení,
- Vysoké investiční náklady,
- Obtížnější realizace úplné automatizace provozu zdroje. [2]

1.9.2. Kogenerace s plynovou turbínou

V tomto systému je palivo spalováno za vysokého tlaku ve spalovací komoře a vznikající horké spaliny proudí vysokou rychlostí do plynové turbíny, kde je tlaková energie přeměněna na mechanickou, která je využita pro pohon turbokompresoru pro stlačení spalovacího vzduchu a pro pohon elektrického generátoru, které jsou na jedné hřídeli s turbínou. Spaliny expandují v turbíně až na tlak blízký na tlak okolí, ale jejich teplota je stále ještě dost vysoká (cca 500 °C) a toho lze následně využít. Lze vyrábět horkou vodu nebo páru pro vytápění, technologické účely apod. Přehřátou páru ale lze také využít pro pohon parní turbíny, toto řešení se nazývá paroplynové

řešení, při tomto způsobu se pohybuje účinnost výroby elektřiny kolem 60%. Mezi výhody kogenerace s parní turbínou jsou menší rozměry, hmotnost a jednoduchost zařízení. Z hlediska provozního je to snadná obsluha, relativně rychlý start a možnost plné automatizace. Mezi nevýhody může patřit menší využití paliva dané nižší celkovou účinností a nutnost použití paliv (plyn, olej). [3]



Obr. 3: Schéma kogenerace s plynovou turbínou [13]

Shrnuté specifické vlastnosti kogeneračních systémů s plynovou turbínou:

Výhody:

- Vysoká spolehlivost, umožňující provoz bez nutnosti dlouhých odstávek,
- Dostupnost VT, umožňující dodávku tepelné energie ve všech požadovaných formách,
- Možnost rychlého najíždění a změna výkonu,
- Cyklický provoz (možnost každodenního odstavování),

- Malá hmotnost a rozměry při daném instalovaném výkonu,
- Nízké měrné instalační náklady, kratší doby výstavby,
- Možnost vysoké automatizace provozu, až bezobslužného provozu.

Nevýhody:

- Kvalitní a čisté palivo (zemní plyn případně lehká kapalná paliva)
- Požadavek vysokého vstupního tlaku plynu,
- Hluk,
- Nižší účinnost ve srovnání se spalovacími motory,
- Menší účinnost při nižších zatíženích a vyšších venkovních teplotách,
- Při malých jmenovitých výkonech nižší účinnost a větší měrné instalační náklady.

Nejčastější místa aplikace:

- Velké průmyslové závody s nepřetržitou potřebou elektrické a tepelné energie,
 - Ve výrobních a zpracovatelských podnicích s potřebami technologické páry,
 - Ve speciálních provozech s potřebami horkého vzduchu o vysokých teplotách.
- [4]

1.9.3. Kogenerace s paroplynovým zařízením

Neustále zvyšující se požadavek na úsporu primárních energetických zdrojů a na ochranu životního prostředí se projevuje i ve změnách koncepce energetických tepelných zdrojů. S výhodou je možno kombinovat plynovou turbínu a pracovní okruh parní turbíny. Tímto spojením vznikne tzv. paroplynové zařízení, které spojuje dílčí výhody jednotlivých zařízení. Paroplynové zařízení lze použít jednak pro samostatnou výrobu elektrické energie, tak v kogeneračním režimu. Nejběžnější

uspořádání kogeneračního paroplynového zdroje se skládá ze soustrojí plynové turbíny (nebo spalovacího pístového motoru), parního kotle, který využívá jejich odpadního tepla a z parní turbíny s jejím příslušenstvím. Pára vyrobená v kotli na odpadní teplo pohání parní turbínu. Parní turbíny, které jsou použity v paroplynovém zařízení, mohou být jedno nebo dvojitlakého provedení, protitlakové, odběrové protitlakové, nebo odběrové kondenzační turbíny. Tepelná energie dodávaná z parního okruhu může být v libovolné formě. [2]

Výhody paroplynových kogeneračních zdrojů ve srovnání se zdroji s parními turbínami:

- Zvýšená výroba elektrické energie,
- Větší provozní pružnost,
- Menší požadavky na zastavěnou plochu,
- Nižší celkové měrné instalační náklady,
- Snadnější optimalizace provozních režimů v dodávce tepelné a elektrické energie.

Výhody paroplynových kogeneračních zdrojů ve srovnání se zdroji s plynovými turbínami:

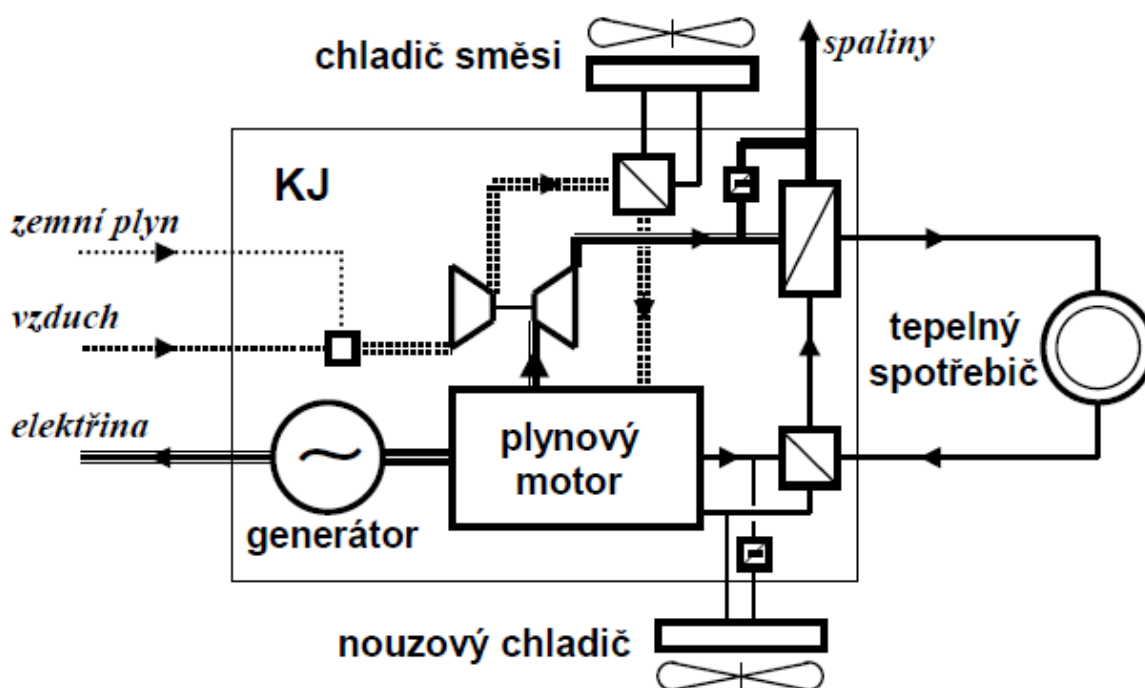
- Vyšší výroba elektrické energie,
- Snadnější optimalizace provozu. [2]

Nejčastější místa aplikace:

- Velké průmyslové závody s nepřetržitou potřebou elektrické a tepelné energie,
- Ve speciálních provozech s velkou produkcí spalitelných plynů. [4]

1.9.4. Kogenerace s pístovým spalovacím motorem

Tato zařízení se běžně označuje jako kogenerační jednotka. Je velmi jednoduché, protože se skládá ze spalovacího motoru, na který je přes spojku připojen elektrický generátor. Zjednodušené schéma je znázorněno na obr. 4. Teplo se získá z chladicího okruhu motoru, z chladiče, oleje, výfukových plynů. Zpravidla je získaná tepelná energie ve formě horké vody do 100 °C. Motory zpravidla spalují plynné palivo. Kogenerační jednotky tohoto typu jsou k dispozici od výkonů od 5 kW do 5 MW. Nejčastějším palivem bývá zemní plyn, často i čistírenské nebo skládkové plyny s nižší výhřevností, motory pak vyžadují systém pro zapálení směsi. Zařízení jsou konstruována jako nízkotáčkové, relativně masivní stacionární stroje umožňující stabilního a trvalého provozu, dlouhé doby životnosti a provozní spolehlivosti. Z důvodu požadavku vysoké účinnosti obou forem energií se jedná o stroje přeplňované, bez převodovek, snaha je využít co nejvíce zdrojů odpadního tepla, kterými jsou mazací olej (výměník olej/voda), samotný blok motoru (výměník voda/voda), výfukové plyny (výměník spaliny/voda). [3][4]



Obr. 4: Schéma kogenerace se spalovacím motorem [14]

Shrnuté specifické vlastnosti kogeneračních jednotek:

Výhody:

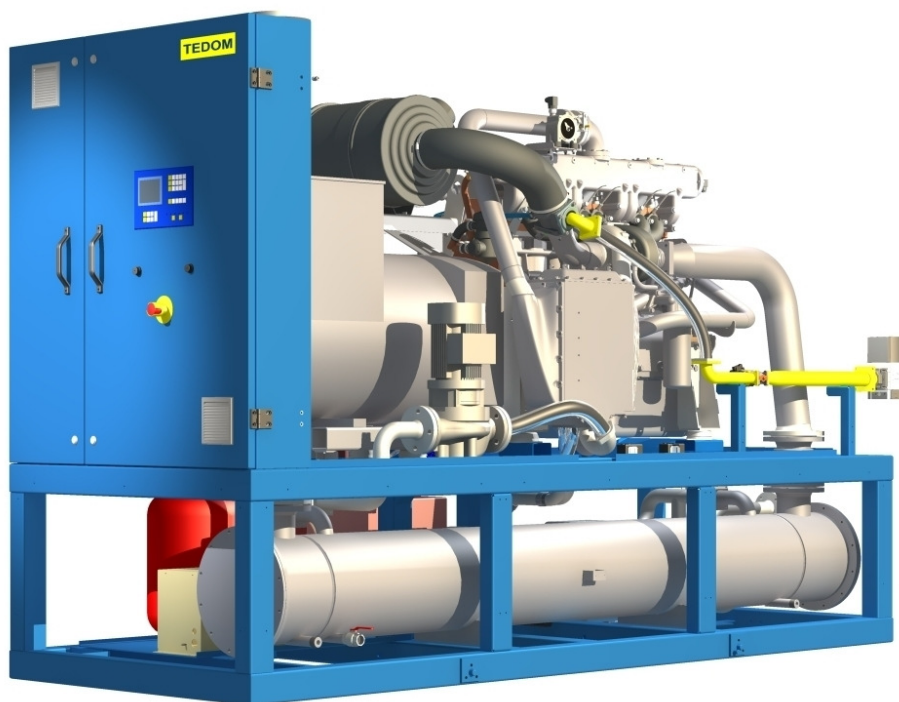
- Možnost rychlého najeť a odstávky,
- Vysoká účinnost i u menších výkonových jednotek,
- Malé prostorové nároky (modulové uspořádání), jednoduchá instalace,
- Možnost bezobslužného, dálkového až plně automatického řízení,
- Možnost bezobslužného, dálkového až plně automatického řízení.

Nevýhody:

- Spalování pouze ušlechtilých paliv,
- Hluk, vibrace (pružné uložení, protihlukové uložení),
- Vysoká celková účinnost při dodávkách tepelné energie ve formě teplé vody,
- Častější servis. [4]

Příklady aplikací kogeneračních jednotek:

- Areálové kotelny,
- Energocentra obchodních, nemocničních, školních, sportovních, administrativních objektů,
- Čistírny odpadních vod, skládky komunálních odpadů, bio provozy. [4]



Obr. 5: Příklad kogenerační jednotky od firmy Tedom [15]

1.9.4.1 Základní části kogeneračních jednotek

- **Plynová trať**

Plynová trať zajišťuje přívod plynu ke kogenerační jednotce a jeho přípravu/úpravu pro spalování v motoru. Uskutečňuje otevírání a uzavírání přívodu plynu, regulaci jeho tlaku na úroveň vhodnou pro nízkotlaké směšování se vzduchem a přípravu spalovací směsi. Dnes se provádí připojování kogeneračních jednotek do nízkotlakých až středotlakých rozvodných sítí plynu. U menších jednotek se tlak plynu pohybuje v rozmezí od 2 kPa až do 20 kPa, u větších se hodnota pohybuje až do 50 kPa. [4]

- **Spalovací motor**

Spalovací motory používané v kogeneračních jednotkách jsou zpravidla řešeny jako pístové motory s vnitřním spalováním odvozené od klasických mobilních spalovacích motorů např. vozidlových, trakčních, lodních apod. Mají-li být tyto motory použity pro kogeneraci, je nutné je rekonstruovat pro spalování zemního plynu. Tato

rekonstrukce se týká palivového systému a samotného spalovacího prostoru. V palivovém systému je připravena směs plynu a vzduchu o požadovaném složení, která je ve válci zažehnuta elektrickou jiskrou. U větších motorů se používá dvoupalivový systém, kdy pro dosažení zapálení směsi je s plynem vstřikováno menší množství (kolem 5 % celkového množství vstupu) motorové nafty. Plynové spalovací motory pracují ve dvou režimech přebytku vzduchu: s množstvím vzduchu blízkého stechiometrickým požadavkům na spalování nebo s velkým přebytkem vzduchu. Maximální výkonu a účinnosti je dosaženo u motorů při spalování v oblasti mírného přebytku vzduchu, nicméně přitom produkují poměrně velké množství NO_x . Je-li použit velký přebytek vzduchu emise, NO_x se podstatně sníží, avšak dojde ke zvýšení obsahu CO a nespálených uhlovodíků ve spalínách a též může docházet ke spalovací nestabilitě. [2]

- **Generátor**

U kogeneračních jednotek je možno použít asynchronní i synchronní generátory. Asynchronní generátory vycházejí levněji, lze je použít pro výkony cca do 100 kW, nicméně jejich nevýhodou je, že mohou pracovat pouze paralelně se sítí, nutná omezení připojovacích špiček a kompenzace účinníku. Synchronní generátory lze použít bez těchto uvedených omezení. Výkonové parametry a kvalita nabízených generátorů je srovnatelná, samozřejmostí je automatické fázování generátorů k síti a automatická regulace účinníku na určenou hodnotu. [3]

- **Výměníky tepla**

V kogenerační jednotce mohou být použity až 4 druhy výměníků tepla:

1. Výměník primárního okruhu

Odvedení tepla z chladícího okruhu každého spalovacího motoru je základní podmínkou jeho provozu. Pro odvod tepla z primárního okruhu se používá výměník voda/voda, díky kterému se převádí teplo do vnějšího sekundárního okruhu pro následné využití. Nejčastěji se používají deskové výměníky, díky menším rozměrům a ceně.

2. Chladič oleje

Nejčastěji se používá chladič v trubkovém nebo lamelovém provedení, který bývá většinou součástí motoru.

3. Spalinový výměník

Tento výměník odebírá teplo výfukových plynů vystupujících z motoru. Bez výjimek se používají trubkové výměníky se spaliny v trubkách, aby byla dodržena podmínka minimální tlakové ztráty na straně spalin.

4. Chladič plnicí směsi

Též jinak nazývaný mezichladič. Stejně jako chladič plnicí směsi bývá zpravidla součástí motoru. Jeho hlavním úkolem je snížit teplotu plnicí směsi na úroveň vhodnou pro správné spalování motoru. Získané teplo je však na nižší teplotní úrovni, proto je jeho využití problematické. Teplo se předá do vody samostatného technologického okruhu a většinou je mařeno v externím chladiči, nicméně v určitých případech může být toto teplo využito pro přehřev topné vody nebo teplé užitkové vody. [3]

• Odvod spalin

Spaliny vznikají v motoru kogenerační jednotky spalováním směsi plynu se vzduchem, po předání jejich tepla ve spalinovém výměníku odvedeny na výstupní přírubu a spalinovodem do komína nebo k samostatné výfukové rouři. Spaliny, které vystupují z jednotky, mívají jmenovitou teplotu 120 °C, avšak teplota při provozu se může měnit v rozsahu 100 °C až 150 °C. Při provozu kogenerační jednotky na nižším výkonu nebo nižší teplotě vratné vody jsou teploty spalin nižší, vyšší teplota může signalizovat zanešení spalinového výměníku. Hodnota tlakové ztráty spalinových cest, je nejdůležitějším parametrem spalinové trasy, která nesmí být překročena, neboť na ní závisí správný chod jednotky. Tlaková ztráta se pohybuje v rozmezí 10 až 20 mbar, je závislá na rychlosti proudění spalin, délce a členitosti spalinovodů. Rychlosti spalin na výstupní přírubě v rozsahu cca 10 až 30 m/s, za přírubou je vhodné tuto rychlost snížit na hodnoty kolem 15 až 20 m/s, zpravidla se to provádí

rozšířením spalínovodů, avšak vždy s ohledem na výsledné tlakové ztráty, které musejí být vypočteny dle konkrétního provedení spalinové cesty. [3]

- **Ventilační zařízení**

Teplo, které se uvolní do vnitřního prostoru kogenerační jednotky např. z horkých částí motoru nebo z generátoru, musí být odvedeno ventilačním vzduchem. Jestliže by tomu tak nebylo, teplo by způsobovalo nadměrný nárůst teploty v prostoru pod protihlukovým krytem. Proudění je zajišťováno ventilátorem umístěným uvnitř jednotky, který má ještě funkci přísunu spalovacího vzduchu z okolí. Celkové potřebné množství vzduchu je dáno součtem ventilačního a spalovacího vzduchu. U menších jednotek může být dostačující ventilátor generátoru. Teplota nasávaného vzduchu může ovlivnit provozní parametry kogenerační jednotky. Měla by se pohybovat v rozmezí teplot 10 až 30 °C. Nižší teplota může vést ke zhoršení startování motoru, naopak překročení maximální dovolené teploty má za následek nejen zhoršení provozních podmínek, ale vznik poruchových odstávek z důvodu nárůstu teploty výstupního vzduchu z jednotky. [3]

- **Prostředky ke snižování hluku**

Spalovací motor je hlavním zdrojem hluku při provozu kogenerační jednotky, tento hluk se z motoru do okolního prostoru šíří zejména těmito dvěma cestami: prostupem přes stěny skříně/budovy, nebo s odcházejícími výfukovými plyny. Pro zajištění omezení šíření hluku do okolí se kogenerační jednotka opatřuje protihlukovým krytem, který bývá nejčastěji řešen jako samonosná panelová konstrukce s otevíratelnými nebo odnímatelnými bočními, případně čelními panely, které jsou s vnitřní strany pokryty vhodným zvuk izolačním materiálem, který tlumí a pohlcuje hluk. Toto opatření nezvětšuje výrazně rozměry jednotky a zároveň zachovává dobrý přístup dovnitř jednotky. Útlum protihlukových krytů bývá kolem 15 až 25 dB. Alternativním provedením je například vybudování odhlučněného kontejneru, které vychází cenově srovnatelně, nicméně rozměrové aspekty jsou daleko vyšší. Pro omezení hluku vycházejících z výfukového potrubí se montují tlumiče výfuku, které mají útlum kolem 25 až 35 dB. [3]

1.10. Speciální druhy kogeneračních zařízení

1.10.1. Mikroturbína

Mikroturbína je vysokootáčkové plynové turbíny o elektrickém výkonu do 100 kW doplněné o tepelný výměník využívající teplo v odcházejících spalínách pro ohřev vody případně výrobu páry. Palivem je z pravidla zemní plyn o tlaku 0,4 až 0,8 MPa, to je více než dosahuje běžný tlak ve středotlaké plynovodní síti, proto je nutné tlak plynu zvyšovat na potřebnou hodnotu pomocí plynového kompresoru. Zdroje s mikroturbínami jsou alternativou malých jednotek s pístovými motory.

Výhody:

- Kompaktnost,
- Nízká hmotnost,
- Provozní flexibilita,
- Spolehlivost.

Nevýhody:

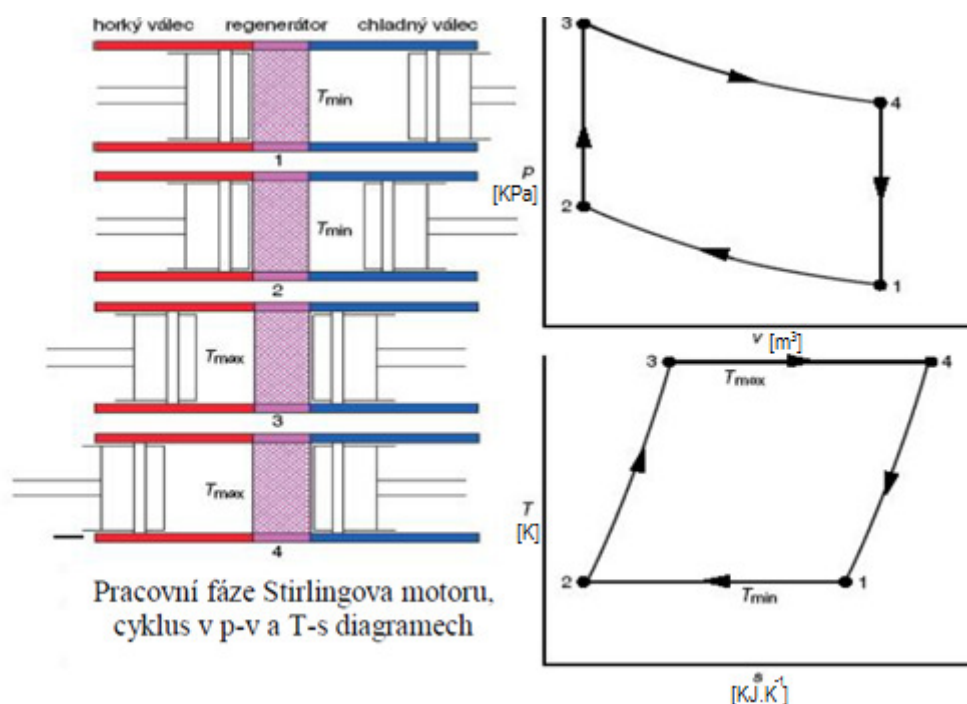
- Vyšší cena,
- Nižší elektrická účinnost. [4]

1.10.2. Stirlingův motor

Jedná se o pístový motor s tzv. vnějším spalováním, nebo též znám jako teplovzdušný motor. Od klasických pístových motorů se odlišují tím, že mají dva trvale propojené zdvihové prostory s rozdílnou teplotou. Pracují s uzavřeným oběhem látky, což může být inertní plyn, který je střídavě ohříván a ochlazován.

Fáze cyklu:

- Izotermická komprese (1-2),
- Izochorický děj (2-3),
- Izotermická expanze (3-4),
- Izochorický děj (4-1).



Obr. 6: Cyklus Stirlingova motoru [16]

Výhody zdrojů se Stirlingovým motorem oproti pístovým motorům:

- Přímé použití jakéhokoliv druhu paliva (případně odpadního tepla),
- Vyšší tepelná účinnost,
- Životnost,
- Nižší hlučnost.

Nevýhody:

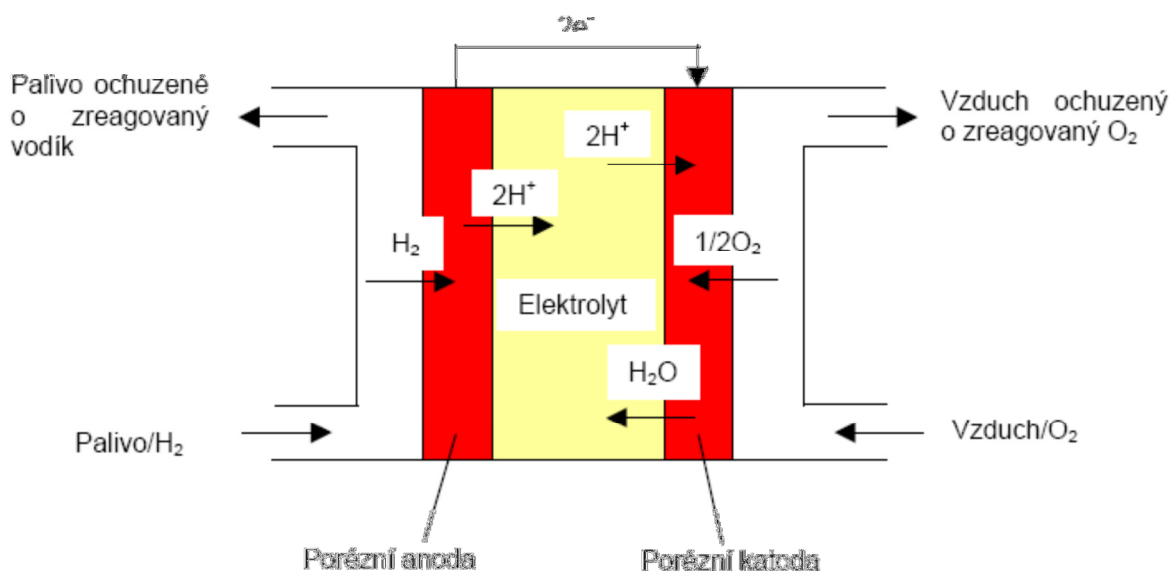
- Vyšší cena (náročná montáž, malá sériovost výroby),
- Vyšší měrná hmotnost na jednotku výkonu,
- Složitější montáž,

- Nutnost použití speciálních materiálů a technologických postupů.

Jejich uplatnění lze očekávat jako alternativa kogeneračních jednotek s pístovými motory a to zejména tam, kde budou vyšší nároky na nehučnost, nebo tam, kde bude k dispozici levný vysokopotenciální tepelné energie např. spalování biomasy, plynů nevhodných pro vnitřní spalování, atd.). Půjde o výkonově menší jednotky, které najdou uplatnění v malých a středních zdrojích KVET. [3] [4]

1.10.3. Zdroje s palivovými články

Palivové články produkují elektrickou energii přímou konverzí chemické energie paliva na energii elektrickou. Základní princip činnosti je znázorněn na obrázku č. 7. Zdrojem energie je zpravidla vodík, který spolu s kyslíkem (ze vzduchu) může exotermním procesem vyrábět elektrickou energii díky elektrolytu za vzniku vody nebo páry. Na porézní anodě pokryté vrstvou katalyzátoru dochází ke štěpení vodíku na protony a elektrony. Protony procházejí elektrolytem ke katodě rovněž pokryté katalyzátorem a reagují tam s adsorbovanými kyslíkovými atomy na vodní páru, zatímco elektrony protékají elektricky vodivou anodou a uzavřeným okruhem jako elektrický proud.



Obr. 7: Základní princip činnosti palivového článku [17]

Palivové články lze dělit dle používaného typu elektrolytu, podle teploty při které pracují.

Výhody palivových článků:

- Nehlučnost,
- Spolehlivost,
- Vysoká účinnost,
- Minimální vliv na životní prostředí.

Nevýhody palivových článků:

- Vysoké pořizovací náklady,
- Dlouhá doba náběhu,
- Nízká životnost. [3][4]

1.11. Druhy provozu kogeneračních jednotek

Dle volby přizpůsobení zatížení kogenerační jednotky požadovanému elektrickému nebo tepelnému výkonu lze provozní režimy rozdělit:

- **Sledování tepelného výkonu** – Při tomto provozu se přizpůsobuje využívaný tepelný výkon kogenerační jednotky požadavkům zatížení nepřesahujícím možnosti jednotky. Řídící veličinou je pak teplota např. teplota prostředí, akumulárního zásobníku, apod. Je-li hodnota vyráběné elektrické energie vyšší než hodnota elektrické hodnoty spotřebované, je přebytek dodáván do sítě.
- **Sledování elektrického výkonu** – Vyráběná elektrická energie je rovna aktuální spotřebě elektrické energie nepřesahující výkonové možnosti kogenerační jednotky. Je-li požadavek na dodávku tepla vyšší, než jsou momentální možnosti jednotky, je zapotřebí použít doplňkový zdroj elektrické

energie, v opačném případě kdy není veškeré produkované teplo využít, musí se část tepla odvádět nevyužita.

- **Kombinovaný provoz** – Jednotka pracuje střídavě ve sledování tepelného a elektrického výkonu. Rozhodujícím kritériem pro upřednostnění jednoho z režimů může být cena paliva, cena elektrické energie, velikost zatížení apod. [1]

Podle druhu provozu kogenerační jednotky se určuje především spolupráce s veřejnou distribuční soustavou. Z tohoto pohledu je možné rozlišovat tři základní provozy:

- **Paralelní provoz se sítí** – Při vyhodnocení povelu START dojde k nastartování motoru kogenerační jednotky a po splnění všech podmínek pro fázování (např. dosažení jmenovitých otáček) k automatickému připojení generátoru k elektrické síti. Jednotka pak pracuje paralelně se sítí na zadané hodnotě elektrického výkonu a vyrobená elektrická energie je dodávána do sítě. Při vyhodnocení povelu STOP jednotka sníží výkon na tzv. prochlazovací úroveň, po stanovené době je generátor odpojen od sítě, následně je motor zastaven a v provozu zůstanou pouze spotřebiče potřebné k dochlazení soustrojí. Po dokončení ochlazovacího cyklu se odstaví i tyto spotřebiče a jednotka se uvede do režimu klidu. Připojení do veřejné distribuční sítě se provádí silovými vodiči ze svorek rozváděče jednotky na vývod hlavního nebo podružného rozváděče. Tento vývod je však nutno jistit proti zkratu na vedení jističem nebo tomu vhodnými pojistkami, zpravidla o 1 až 2 stupně vyššími než jmenovitá hodnota proudu generátoru. [1][3]
- **Ostrovní provoz** – Kogenerační jednotka je pouze jediným zdrojem elektrické energie, pracuje tedy zcela autonomně bez připojení na veřejnou rozvodnou síť. Provoz kogenerační jednotky je řízen dle okamžité spotřeby elektřiny, výroba tepla je závislým parametrem. Plné využití jednotky je nutnou podmínkou provozu, proto musí mít prioritu před odběrem z jiných zdrojů (např. kotlů, CZT, apod.). Po spuštění jednotky probíhá automaticky proces připojování generátoru k rozvodně, po dosažení jmenovitých otáček a

jmenovitého napětí na generátoru, se připojí k rozvodně (sepne stykač nebo jistič s motorovým pohonem). V okamžiku připojení je nutné zajistit, aby k rozvodně bylo připojeno pouze malé (základní) zatížení (kolem 20 % jmenovitého výkonu generátoru). Další spotřebiče se připojují až posléze stupňovitě v např. ve čtyřech až pěti krocích tak, aby nedošlo k překročení jmenovitého výkonu generátoru. Generátor pak dodává do ostrovní zátěže výkon, jehož velikost je určena aktuální spotřebou. Jmenovitá frekvence je udržována činností regulátoru otáček a jmenovité napětí je řízeno automatickým regulátorem napětí, který je součástí generátoru. Před odstavováním jednotky je vhodné nejprve postupně vypnout většinu spotřebičů a jednotku nechat dále v provozu asi 3 až 5 minut na výkonu kolem 20 až 30 % jmenovitého výkonu. Po té je možné až stisknout tlačítko STOP, čímž dojde k odpojení od rozvodny (odepne stykač generátoru), následuje krátký čas, kdy soustrojí setrvá na jmenovitých otáčkách a teprve potom se teprve zastaví motor. Dochlazení v tomto režimu není možné, protože po zastavení motoru již nemáme k dispozici elektrickou energii potřebnou pro pohon čerpadel a ventilátorů. Je-li v této soustavě zapojeno více jednotek paralelně, je nutné doplnění nadřazeného systému, které zabezpečí rozdělování činného a jalového výkonu mezi jednotlivé jednotky (generátory). Ostrovní provoz se používá především při výrobě elektrické energie pro krytí vlastní spotřeby. [1][3]

- **Nouzový režim** – V nouzovém stavu plní jednotka funkci záložního zdroje elektrické energie. Řídicí systém ovládá dva silové spínací prvky, jeden slouží k připojení generátoru k nouzové rozvodně, druhý slouží propojení nouzové rozvodny s rozvodnou hlavní (resp. se sítí). Pokud je vše v pořádku, stykač sítě je sepnutý a napájení nouzové rozvodny je z hlavní rozvodny (sítě) a jednotka je v pohotovostním režimu. Při výpadku elektrické energie odpadne stykač sítě a začne probíhat automatický start jednotky a následným připojením generátoru k ostrovní zátěži (sepnutí stykače generátoru). Pro chod v nouzovém provozu platí stejná pravidla jako při ostrovním režimu. Využití kogenerační jednotky jako čistě záložní zdroj není zcela typické. [1][3]

1.12. Dimenzování výkonu kogenerační jednotky

Všude tam, kde se spotřebovává tepelná energie, je určitý potenciál pro výstavbu kogeneračního zařízení. Dimenzování jmenovitého výkonu a návrh provozu je jeden z nejdůležitějších přípravných kroků její instalace, neboť má přímý vliv na ekonomii provozu a efektivnosti samotného záměru. Existují dva možné pohledy návrhu. Je možné dimenzovat kogenerační jednotku buď podle potřeb elektrické energie (dle průběhu potřeb vlastní spotřeby ve zdroji), potom je nutná kontrola kontinuálního odběru tepelné energie, nebo je možné dimenzovat s ohledem na potřeby tepla, a produkovaná elektrická energie se spotřebovává v místě výroby či přebytky předprodávány do sítě. Samotný návrh lze rozdělit do těchto základních dvou kroků:

- 1) Předběžné posouzení vhodnosti a možnosti použití kogenerační jednotky,
- 2) Podrobný rozbor požadavků na odběr tepla a elektrické energie a odtud vhodný návrh typu, velikosti kogeneračních jednotek, případně doplňkové zdroje tepla.

V prvním kroku je nutné brát v úvahu:

- Přiměřeně velké požadavky na teplo a elektrické energie z hlediska výkonu tak doby ročního využití,
- Dispozice vhodného paliva, možnosti připojení k distribuční síti,
- Dostatečně velký prostor na zařízení a tomu nezbytné zázemí,
- Spotřebitel tepla je blízko místa instalace jednotky,
- Legislativní požadavky (např. hluk, emise, veřejný zájem...)

Pro zpracování druhého kroku je nutné co nejpodrobnější řadu podkladů:

- Situační plán,
- Kompletní informace o stávajícím zdroji tepla,

- Roční spotřeby tepelné a elektrické energie a její rozpis po měsících, nejlépe za posledních pár let a určitý výhled spotřeb do budoucna,
- Denní diagramy potřeb tepelné energie v typických dnech roku (topná sezona, přechodné období, letní provoz)
- Denní diagramy potřeb elektrické energie v typických dnech roku (pracovní, neděle/svátky).

Na základě těchto získaných podkladů se vytvoří návrh provedení a dimenzování kogenerační jednotky či jednotek. Určení velikosti a počtu jednotek je tak velmi variabilní v závislosti na daném projektu.

Samotný projekt musí řešit další nutné aspekty:

- Dodávka plynu,
- Přívod větracího a spalovacího vzduchu,
- Odvod spalin,
- Olejové hospodářství,
- Vyvedení elektrického výkonu,
- Vyvedení tepelného výkonu,
- Regulace provozu. [2][3][4]

1.13. Ekonomická kritéria efektivnosti investice

Ekonomická kritéria efektivnosti jsou ekonomické veličiny, pomocí nichž posuzujeme ekonomickou výhodnost investičního záměru v průběhu celé doby životnosti, nebo ve sledovaném období (např. 20 let).

- **Prostá doba návratnosti investice** – Nejjednodušší, nejpoužívanější, nicméně nejméně vhodné ekonomické kritérium. Nevýhodou je, že toto

kritérium zanedbává efekty po době návratnosti a také zanedbává fakt, že můžeme peníze vložit do jiných investičních příležitostí.

$$T_s = \frac{IN}{CF} \text{ (roky)}$$

IN...investice

CF...roční peněžní toky

- **Reálná (diskontovaná) doba návratnosti investice** – Obdobné kritérium jako prostá doba návratnosti, rozdíl je v tom, že vychází z diskontovaného peněžního toku.

$$\sum_{t=1}^{Tsd} CF_t * (1 + r)^{-t} - IN = 0 \text{ (roky)}$$

CF_t...roční přínosy projektu (změna peněžních toků po realizaci projektu)

r...diskont

- **Čistá současná hodnota (NPN)** – Jedno z nejvhodnějších kritérií. Je v něm zahrnuta celá doba životnosti projektu, i možnost investování do jiného stejně rizikového projektu.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} CF_t * (1 + r)^{-t} - IN \text{ (tis. Kč/r)}$$

T_ž...doba životnosti projektu

- **Vnitřní výnosové procento (IRR)** – Jednoduše řečeno se jedná o trvalý roční výnos investice. Jedná se o takovou diskontní míru, při níž bude čistá současná hodnota NPV rovna nule. Výhodná varianta řešení je taková, při níž IRR bude vyšší než požadovaná diskontní míra.

$$\sum_{t=1}^{T\check{z}} CF_t * (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 (\%)$$

Uvedené vztahy odpovídají vyhlášce č. 480/ 2012 Sbírky zákonů o energetickém auditu a energetickém posudku. [2][5]

1.14 Podpora kogeneračních jednotek

Podpora výroby elektrické energie kogeneračními jednotkami je dána tzv. zeleným bonusem, což je příspěvek na každou spotřebovanou kWh elektrické energie vyrobené kogenerační jednotkou. Výši zeleného bonusu s jednotlivými kritérii můžeme nalézt v cenových rozhodnutích ERÚ č. 11 / 2016 a č. 2/ 2017. Základní sazba ročního zeleného bonusu z KVET pro výrobu elektřiny s celkovým instalovaným výkonem kogeneračních jednotek do 5 MW_e (včetně) uvedených do provozu do konce roku 2017 je uveden na obr. 8.

	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
ř./sl.	a	b	c	d	e	j	m
715	Elektřina z KVET	1.1.2016	31.12.2017	0	200	3 000	1 970
716		1.1.2016	31.12.2017	0	200	4 400	1 505
717		1.1.2016	31.12.2017	200	1 000	3 000	1 560
718		1.1.2016	31.12.2017	200	1 000	4 400	1 160
719		1.1.2016	31.12.2017	1 000	5 000	3 000	1 225
720		1.1.2016	31.12.2017	1 000	5 000	4 400	895

Obr. 8: Platné zelené bonusy pro KVET [19]

2. Popis vybraného průmyslového objektu

Vybraný objekt se nachází ve městě Hlinsko. Objekt vlastní firma Backer Elektro CZ a.s., která se zabývá výrobou topných těles a jedná se o společnost s dlouholetou tradicí. Firma sídlí v areálu Megatech Industries Hlinsko s.r.o., bývalé tradiční české společnosti ETA a.s.

2.1. Historie a vývoj Backer Elektro CZ a.s.

Výroba topných těles má v Hlinsku více než sedmdesátiletou tradici. Historie sahá až do roku 1943, kdy byla založena společnost ESA (Elektrotepelná akciová společnost), jejímž vlastníkem byl Jan Prošvic, společnost vyráběla elektrospotřebiče pro domácnost – vařiče a žehličky. V roce 1948 společnost zakoupila licenci švýcarské firmy Maxim-Aurau na výrobu trubkových topných těles plochooválného průřezu, což odstartovalo výrazný rozvoj výroby topných těles. Avšak jako většina tuzemských společností byla ESA v roce 1948 znárodněna, a v roce 1950 se společnost přejmenovala na národní podnik Elektro - Praga Hlinsko. V roce 1953 vzniklo nové vývojové a konstrukční oddělení, což mělo za následek rozvoj výroby topných těles pro všestrannou aplikaci topných těles v různých oblastech průmyslu. V roce 1964 se přesunula výroba do nové haly s rozlohou více než 7000 m², ve které společnost sídlí dodnes. V roce 1991 se stala společnost opět akciovou a následně v roce změnila název na ETA a.s., identický s vyráběnou značkou, výroba topných těles nesla název závod 03. V období roků 1990 až 2000 si společnost udržela tradičně silné postavení na českém i slovenském trhu. Počátkem roku 2001 přešel závod 03 od společnosti ETA a.s. do vlastnictví společnosti Backer Elektro CZ s.r.o., která je součástí společnosti NIBE Element, který spadá pod švédský koncern NIBE INDUSTRIER AB. Tento koncern evropského významu má tři divize, přičemž výroba topných těles je jednou z hlavních, a po světě vlastní 25 závodů, přičemž Backer Elektro CZ je jedním z nich. Součástí koncernu je také Backer Eltop s.r.o., který sídlí v nedalekých Miřeticích. V současnosti se roční produkce pohybuje kolem 1,5 milionu kusů kompletních topných těles v široké škále parametrů pro oblasti použití například mnoha oblastech průmyslu, dopravy, domácích spotřebičů, gastronomie apod. Kromě převažující výroby topných těles vyrábí Backer Elektro CZ také například

průtokové ohřivače, sušáky prádla a mnohé další. V roce 2014 otevřela společnost Backer Elektro CZ v Hlinsku druhý závod s označením 02, tento závod je zaměřen na velkosériovou výrobu tištěných topných těles. V současné době společnost čítá více než 200 zaměstnanců. [6]



Obr. 9: Firma Backer Elektro CZ, čelní pohled [6]

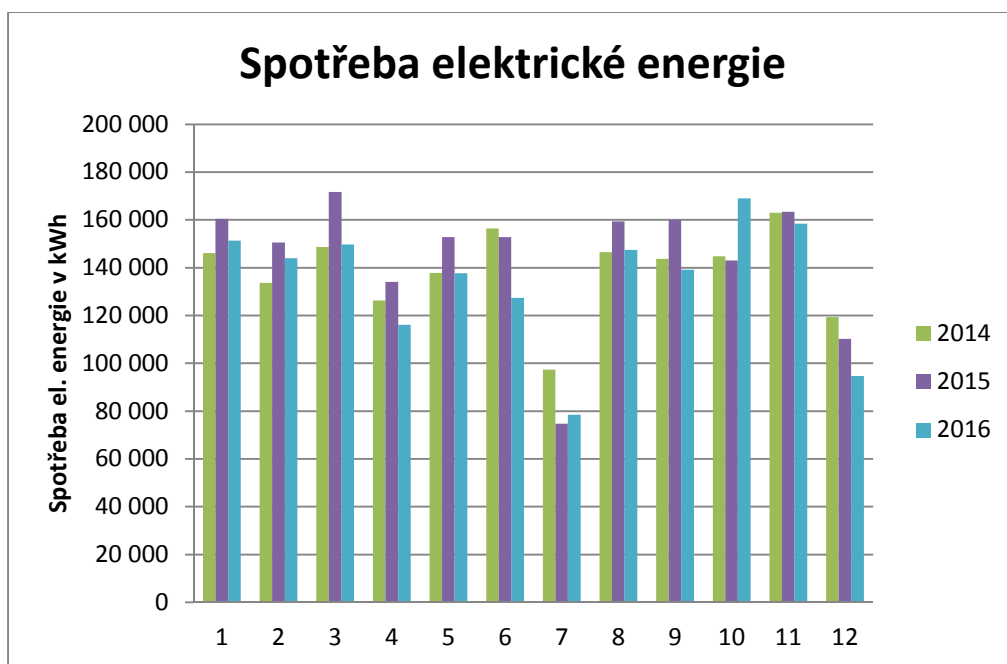


Obr. 10: Firma Backer Elektro CZ, letecký pohled na výrobní halu [6]

2.2. Současný stav

2.2.1. Spotřeba elektrické energie v objektu

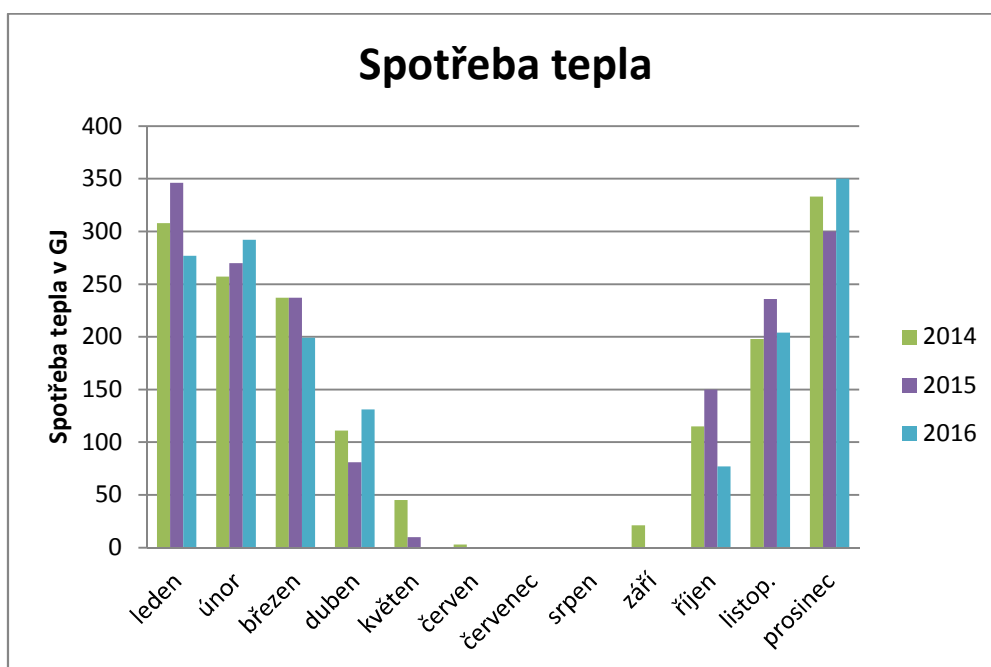
Elektrická energie je získávána z místní „LDS“, která je v majetku sousední firmy Megatech Industries Hlinsko s.r.o., která však nemá licenci na prodej elektrické energie z hlediska energetického zákona, proto elektrickou energii firmě Backer Elektro a.s. přefakturovává a distribuce uvnitř areálu je řešena formou služeb. Toto rozpoložení uvnitř areálu představuje firmě Backer Elektro určité riziko, protože firma Megatech není povinna dodávat firmě Backer Elektro a.s. elektrickou energii. Řešením by bylo vybudováním vlastní trafostanice 35 kV / 400V, nicméně řešení této situace není náplní této diplomové práce. Spotřeby elektrické energie v jednotlivých měsících za posledních pět let jsou uvedeny v grafu 1. Hodnoty jsou získány z podružného měření. Z grafu je patrná téměř konstantní spotřeba elektrické energie, až na měsíce červenec a prosinec, kde se projevují celozávodní dovolené.



Graf 1: Spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících za poslední 3 roky

2.2.1. Spotřeba tepelné energie v objektu

Vytápění objektu je řešeno dvěma způsoby. Prvním způsobem je teplovodní vytápění, které zajišťuje plynová kotelna, která je ve vlastnictví firmy Megatech Industries Hlinsko s.r.o., která prodává teplo firmě Backer Elektro CZ a.s. za smlouvenou cenu za GJ. Kotelna je vzdálenosti cca 100 m od odběrných míst. Takto jsou vytápěny administrativní části budovy, skladové prostory a menší dílenské prostory. Větší dílenské prostory jsou vytápěny v kombinaci s plynovými přímotopy - RODA. Spotřeba tepla je znázorněna v grafu 2, z kterého je zřejmé, že spotřeba tepla je závislá na probíhající topné sezoně. Teplá užitková voda je řešena pomocí elektrických ohříváčů.



Graf 2: Spotřeba tepla v jednotlivých měsících za poslední 3 roky

2.2.3. Zemní plyn

Zemní plyn, podobně jako elektrickou energii, získává firma Backer Elektro a.s. od firmy Megatech Industries Hlinsko s.r.o. z jejích STL rozvodu. Jedná se o stejný případ jako u elektrické energie, firma Megatech Industries Hlinsko s.r.o. nemá dle energetického zákona licenci na prodej zemního plynu, proto plynou pro firmu Backer stejná rizika jako v bodě 2.2.1. Řešením by bylo zřízení vlastní regulační

stanice VTL / STL, anebo v areálu vytvořit LDS, nicméně řešení této situace není náplní této diplomové práce. V současnosti je zemní plyn v objektu využíván pro vytápění hal plynovými přímotopy – RODA. Využíván je také na technologické procesy při výrobě, mezi které patří svařování, potřeby žíhací pece apod. Firma Backer Elektro a.s. vlastní regulační stanici STL / NTL.

2.2.4. Stlačený vzduch

Potřeby stlačeného vzduchu jsou zajišťovány dvěma způsoby. Firma má vlastní kompresorovnu, která ale nepokrývá veškeré potřeby, proto ještě je využíváno dodávek stlačeného vzduchu od firmy Megatech Industries Hlinsko s.r.o., za smluvenou jednotku Kč/m³.

3. Návrh kogenerační jednotky

3.1. Přípojka zemního plynu

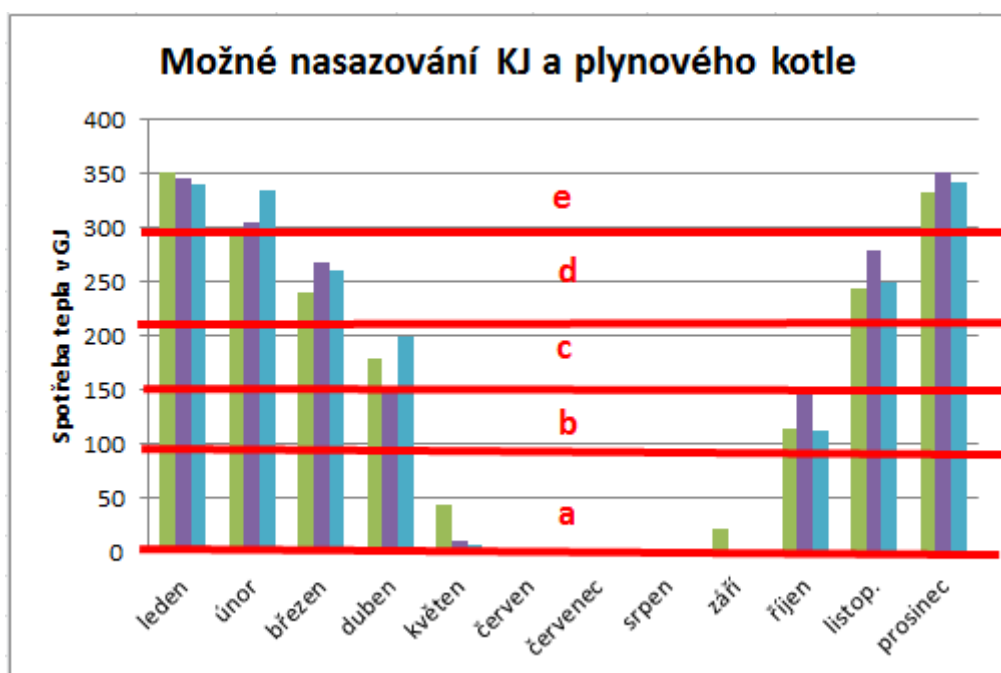
Přímo v objektu je doveden zemní plyn, nachází se zde i regulační stanice STL / NTL, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.3. Vedení STL se nachází cca 10 metrů od plánovaného umístění kogenerační jednotky, viz příloha č. 1.

3.2. Návrh kogeneračního systému

V praxi nejběžněji používaná aplikace kogeneračních jednotek je jejich provoz v topné sezoně. Kogenerační jednotka vyrobí tolik tepla, kolik je možné v daném objektu spotřebovat a vyrobená elektrická energie vylepšuje energetickou bilanci objektu (úspory). Kogenerační jednotka nenahradí celou potřebu vytápění, tepelné špičky, náběh a doběh topné sezony musí být řešeno v kombinaci s plynovým kotlem. Jelikož jsou známy hodnoty skutečné spotřeby tepla potřebného na vytápění objektu dodávané firmou Megatech Industries Hlinsko s.r.o., budou tyto hodnoty upřednostněny od hodnot výpočtových.

Fakticky mohou nastat v průběhu topné sezony tyto situace:

- a) Kogenerační jednotka je odstavena z důvodu její technické a ekonomické nevýhodnosti momentálního použití a celou výrobu tepla přebírá pouze plynový kotel.
- b) Provoz s jednou kogenerační jednotkou v jejím regulačním rozsahu.
- c) Provoz s jednou kogenerační jednotkou v plném (100%) zatížení a pokrytí špiček plynovým kotlem.
- d) Provoz obou kogeneračních jednotek v jejich regulačním rozsahu.
- e) Provoz obou kogeneračních jednotek v plném zatížení (100%) a pokrytí špiček plynovým kotlem.



Graf 3: Znázornění situací provozu kogeneračních jednotek a plynového kotle

3.2.1. Použité kogenerační jednotky:

Jedná se o kogenerační jednotky od firmy TEDOM, typ Cento T80 SP NG C. Jedná se kogenerační jednotku na zemní plyn v kontejnerovém provedení pro venkovní použití. Základní informace v tab. 1. Více v příloze č. 2. a v příloze č. 3.

Základní technická data				
Jmenovitý elektrický výkon			81	kW
Maximální tepelný výkon			120	kW
Zatížení	50	75	100	%
Maximální tepelný výkon	82	99	120	kW
Příkon v palivu	141	183	231	kW
Účinnost elektrická	28,8	33,1	35,1	%
Účinnost tepelná	58,6	54,2	52,2	%
Účinnost celková (využití paliva)	87,4	87,3	87,3	%
spotřeba plynu	14,9	19,4	24,4	%

Tab. 1.: Základní technická data kogenerační jednotky Tedom Cento T80

Umístění kogeneračních jednotek přímo uvnitř objektu by nebylo možné z důvodu žádných možných adekvátních prostor, proto jsou použity kogenerační jednotky v kontejnerovém provedení. Plánované místo umístění je na obr. 11. V příloze č. 1 je situačně zachyceno v katastrální mapě připojení na stávající rozvod zemního plynu, vyvedení elektrického a tepelného výkonu (napojení do stávajícího topného systému) do objektu.



Obr. 11: Plánované umístění kogeneračních jednotek

3.2.2. Vybraný kondenzační plynový kotel:

Protože instalovaný tepelný výkon kogeneračních jednotek není dostačující, je nutné instalovat plynový kondenzační kotel pro pokrytí tepelných špiček a také pokrytí náběhu a doběhu topné sezony. Jedná se o plynový kondenzační plynový kotel od společnosti Thermona typ Therm 90 KD.A. Výkon je plynule regulovatelný v rozsahu 27 – 100 %. Umístění kotle je plánováno konkrétně v místnosti, kde je umístěno současné napojení CZT na místní teplovodní topnou soustavu (rozdělovač, sběrač).

Maximální tepelný příkon	89,7	kW
Min. a max. tepelný výkon	25 - 95	kW
Spotřeba paliva	2,46 - 9,53	m ³ /h
Maximální výstupní teplota topné vody	80	°C
Účinnost kotle	98 - 106	%

Tab. 2: Parametry kondenzačního kotle Thermona Therm 90 KD.A



Obr. 12: Plynový kondenzační kotel Thermona Therm 90 KD.A [17]

3.2.3. Výpočet výroby elektrické a tepelné energie

(Hodnoty jsou vypočteny ze středního zatížení kogeneračních jednotek)

Produkce tepla jednou kogenerační jednotkou (přibližně 2 měsíce)

$$Q_{t1} = 16 \times 22 \times 2 \times 100 = 70\,400 \text{ kWh [kWh, hodina, dny, měsíc, kW]} \quad (4.1)$$

Produkce tepla dvěma kogeneračními jednotkami (přibližně 5 měsíců)

$$Q_{t2} = (16 \times 22 \times 5 \times 100) \times 2 = 352\,000 \text{ kWh [kWh, hodina, dny, měsíc, kW]} \quad (4.2)$$

Celková produkce tepla

$$Q_t = Q_{t1} + Q_{t2} = 422\,400 \text{ kWh} = 1520 \text{ GJ} \quad (4.3)$$

Produkce elektrické energie jednou kogenerační jednotkou (přibližně 2 měsíce)

$$W_{el1} = 16 \times 22 \times 2 \times 60 = 42\,240 \text{ kWh [kWh, hodina, dny, měsíc, kW]} \quad (4.4)$$

Produkce elektrické energie dvěma kogeneračními jednotkami (přibližně 5 měsíců)

$$W_{el2} = (16 \times 22 \times 5 \times 60) \times 2 = 211\,200 \text{ kWh [kWh, hodina, dny, měsíc, kW]} \quad (4.5)$$

Celková produkce elektrické energie

$$W_{el} = W_{el1} + W_{el2} = 253\,440 \text{ kWh} \quad (4.6)$$

Spotřeba zemního plynu pro jednu kogenerační jednotku (přibližně 2 měsíce)

$$V_{KJ1} = 16 \times 22 \times 2 \times 19,4 = 13\,658 \text{ m}^3 [\text{m}^3, \text{hodina, dny, měsíc, m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (4.7)$$

Spotřeba zemního plynu pro jednu kogenerační jednotku (přibližně 5 měsíců)

$$V_{KJ2} = (16 \times 22 \times 5 \times 19,4) \times 2 = 68\,288 \text{ m}^3 [\text{m}^3, \text{hodina, dny, měsíc, m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (4.8)$$

Celková spotřeba zemního plynu

$$V_{KJ} = V_{KJ1} + V_{KJ2} = 81\,946 \text{ m}^3 [\text{m}^3, \text{hodina}, \text{dny}, \text{měsíc}, \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (4.9)$$

Teplo získané z paliva (zemní plyn)

$$Q_{KJZP} = 81\,946 \times 9,5 = 778\,847 \text{ kWh} [\text{kWh}, \text{m}^3, \text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (4.10)$$

$$Q_{KJZP} = 3\,157 \text{ GJ}$$

Roční energetická účinnost:

$$\eta = \frac{W_{el} + Q_t}{Q_{ZP}} = \frac{253\,440 + 422\,400}{778\,847} = 86,7 \% \quad (4.11)$$

Plynový kotel:

Potřebné teplo

$$Q_K = 1\,850 - 1\,520 = 330 \text{ GJ} = 91\,667 \text{ kWh} \quad (4.12)$$

Doba provozu kotle

$$t_K = \frac{91\,667}{95} = 965 \text{ h} [\text{h}, \text{kWh}, \text{kW}] \quad (4.13)$$

Spotřeba zemního plynu kotle za rok

$$V_K = 965 \times 9,53 = 9196 \text{ m}^3 [\text{m}^3, \text{h}, \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (4.14)$$

Celková spotřeba zemního plynu kogeneračních jednotek a plynového kotle

$$V = V_{KJ} + V_K = 91\,146 \text{ m}^3$$

3.3. Ekonomické zhodnocení

3.3.1. Výpočet úspor

1) Úspory elektrické energie

Veškerá vyrobená elektrická energie kogeneračními jednotkami bude využita pro vlastní spotřebu průmyslového objektu. Cena této vyrobené elektrické energie bude vyčíslena dle průměrné kupní ceny za rok 2016.

$$C_{el} = 253\,440 * 2,8 = 709\,632 \text{ Kč [Kč, kWh, Kč.kWh}^{-1}] \quad (4.15)$$

Dále je možné uvažovat dotaci ve formě zeleného bonusu, viz cenová rozhodnutí ERÚ č. 11 / 2016 a č. 2 / 2017. Výše zeleného bonusu v tomto případě by měla činit 1970 Kč / MWh.

$$C_{ZB} = 253,44 * 1970 = 499\,277 \text{ Kč}$$

2) Úspory díky vlastní výrobě tepla

Cena vyrobeného tepla bude vyčíslena dle průměrné kupní ceny CZT za rok 2016.

a) Kogenerační jednotky

$$C_{TKJ} = 1520 * 505 = 767\,600 \text{ Kč [Kč, GJ, Kč.GJ}^{-1}] \quad (4.16)$$

b) Plynový kondenzační kotel

$$C_{TKJ} = 330 * 505 = 181\,500 \text{ Kč [Kč, GJ, Kč.GJ}^{-1}] \quad (4.17)$$

3.3.2. Výpočet provozních nákladů

Do provozních nákladů je zahrnuta cena paliva (zemní plyn), dále fixní náklady za provoz/obsahu, servis, revize atd.

a) Zemní plyn

$$C_{zp} = 865\,887 \cdot 1,3 = 1\,125\,653 \text{ Kč [Kč, kWh, Kč/kWh]} \quad (4.15)$$

b) Fixní náklady

$$C_{Pf} = 200\,000 \text{ Kč}$$

c) Celkové roční náklady

$$C_P = C_{zp} + C_{Pf} = 1\,325\,653 \text{ Kč}$$

3.3.3. Investiční náklady

V tabulce č. 3 jsou vyčísleny investiční náklady celého investičního záměru. Investiční náklady obsahují ceny jednotlivých hlavních komponent a dále odhady cen v závislosti na situačních podmínkách v tomto konkrétním průmyslovém objektu.

Investiční náklady	
Položka	Cena bez DPH
Kogenerační jednotky Tedom Cento T80 kontejner 2 ks	5 388 000
Thermona Therm 90 KD.A	150 000
Přípojka plynu	100 000
Elektroinstalace	550 000
Napojení na topný systém	450 000
Akumulační nádrže	150 000
Stavební úpravy	200 000
Celkem	6 988 000 Kč

Tab. 3.: Investiční náklady projektu s kogeneračními jednotkami

3.3.4. Ekonomické hodnocení efektivity investice projektu

Určené jednotlivé kritéria efektivity investice jsou uvedeny v tabulce č. 4 a č. 5, které byly vypočteny v softwaru MS Excel, tento soubor je dostupný na přiloženém CD (Ekonomika.xlsx). Kritéria diskontovaná doba návratnosti a NPV byly počítány s diskontní mírou 9 %. Doba životnosti projektu je uvažována 20 let.

a) Bez započítání zeleného bonusu

Prostá doba návratnosti	22 let
-------------------------	--------

Tab. 4.: Ekonomické hodnocení efektivity investice projektu bez započítání zeleného bonusu

Prostá doba návratnosti vyšla vyšší než je doba životnosti projektu, tudíž další kritéria nebyly počítány, z důvodu nevýhodnosti investice.

b) Se započítáním zeleného bonusu

Prostá doba návratnosti	8 let
Diskontovaná doba návratnosti	17 let
NPV	544 044 Kč
IRR	10 %

Tab. 5.: Ekonomické hodnocení efektivity investice projektu se započítáním zeleného bonusu

Jak je patrné z tabulky č. 5, při započítání zeleného bonusu se stává projekt výhodným. Z prosté doby návratnosti, tj. prostým podělením investičních nákladů a ročního cash flow vyplývá, že by návratnost projektu měla být ještě před polovinou životnosti projektu, tedy po osmi letech. Diskontované doby návratnosti počítané s 9 % diskontní mírou, by se mělo dosáhnout sedmnáctého roku projektu, tudíž ještě v uvažované dvacetileté době životnosti projektu. Vnitřní výnosové procento projektu vyšlo 10 %, což je o 1 % vyšší než uvažovaná diskontní míra. Čistá současná hodnota projektu (NPV) je 544 044 Kč, je vyšší než 0, což znamená, že projekt je o tuto hodnotu výnosnější, než jsme si stanovili 9 % diskontem. Z výše uvedených kritérií je patrné, že projekt je návratný ještě v době životnosti a tudíž i výhodný. Nutno však dodat, že je výhodný za předpokladu dotace pomocí zeleného bonusu.

4. Návrh vlastního zdroje CZT

Tato kapitola je určena jako další možný návrh vlastního zdroje pro vytápění průmyslového objektu. Jedná se o realizaci vlastní plynové kotelny s plynovými kondenzačními kotli. Půjde o protinávrh kapitoly 3, tedy vytápění pomocí kogeneračních jednotek. Srovnávací parametr však nemůže být úspora primárního paliva, ale pouze ekonomická stránka projektu (investiční náklady, úspory...).

Kotelnu by bylo možné realizovat uvnitř objektu, a to konkrétně v místnosti kde je umístěno současné napojení CZT na místní teplovodní topnou soustavu (rozdělovač, sběrač).

4.1. Přípojka zemního plynu

Přímo v objektu je doveden zemní plyn, nachází se zde i regulační stanice STL/NTL, jak již bylo řečeno v kapitole 2.2.3. Vedení STL se nachází v blízkosti plánovaného umístění kotelny. Vedení se nachází cca 5 m od plánovaného umístění kotelny.

4.2. Použité plynové kotle

Jelikož je plánován spíše růst firmy, je dobré v této variantě uvažovat s určitou výkonovou rezervou. Byly vybrány plynové kondenzační kotle od společnosti Thermona typ Therm 90 KD. A, důležité parametry viz kapitola 3. str. 47. Kotle budou zapojeny v kaskádě (za sebou) ve čtyřech provedeních, tedy s celkovým instalovaným výkonem 340 kW. Hlavní výhodou kaskádového zapojení je provoz menších kotlů při vysoké účinnosti, než velký kotel při malém zatížení, který pracuje při nízké účinnosti. Kotle jsou vybaveny komunikačním rozhraním (interface), který umožňuje přenos informací mezi kotli a plynulou modulaci výkonu všech kotlů v kaskádě současně. To znamená nejen optimálního nastavení výkonu v každém

okamžiku provozu, ale i přístup k důležitým datům (aktuální činnost, diagnóza závad apod.). Při menším zatížení budou kotle automaticky mezi sebou přepínat tak, aby bylo zachováno rovnoměrné zatížení všech kotlů.

4.3. Ekonomické hodnocení

4.3.1. Výpočet úspor

V tomto případě určení úspor znamená pouze ušetření nákladů za nákup tepla z místní CZT. Úspora bude vycházet z průměrné nákupní ceny tepla v roce 2016 a průměrné roční spotřeby tepla za poslední roky.

$$C_T = 1850 \cdot 505 = 934\,250 \text{ Kč [Kč, GJ, Kč.GJ}^{-1}] \quad (4.1)$$

4.3.2. Výpočet nákladů

Náklady se budou skládat z nákladů na zemní plyn, které budou vyčísleny z předpokládané spotřeby zemního plynu a aktuální nákupní ceny zemního plynu. Dále se bude jednat o odhad fixních nákladů spojené s provozem / obsluhou, revizemi apod.

a) Náklady na zemní plyn

Doba provozu kotle

$$t = \frac{513\,889}{340} = 1511 \text{ h [h, kWh, kWh]} \quad (4.2)$$

Spotřeba zemního plynu kotle za rok

$$V_K = 1511 \times 9,53 \times 4 = 57\,600 \text{ m}^3 [\text{m}^3, \text{h, m}^3.\text{h}^{-1}] \quad (4.3)$$

Provozní náklady na zemní plyn

$$C_{ZP} = 57\,600 \times 9,5 \times 1,3 = 711\,360 \text{ Kč [Kč, m}^3, \text{kWh. m}^{-3}, \text{Kč.kWh}^{-1}] \quad (4.4)$$

b) Fixní náklady

$$C_F = 80\,000 \text{ Kč}$$

c) Celkové náklady

$$C_P = C_{ZP} + C_F = 791\,360 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

4.3.3. Investiční náklady

V tabulce č. 6 jsou vyčísleny investiční náklady celého investičního záměru. Investiční náklady obsahují ceny jednotlivých hlavních komponent a dále odhady cen v závislosti na situačních podmínkách v tomto konkrétním průmyslovém objektu.

Investiční náklady	
Položka	Cena bez DPH
4x Thermona Therm 90 KD.A	400 000
Přípojka plynu	100 000
Elektroinstalace	50 000
Řízení, regulace	100 000
Prvky topného systému	300 000
Stavební úpravy	100 000
Celkem	1 050 000 Kč

Tab. 6.: Investiční náklady projektu s vlastní plynovou kotelnou

4.3.4. Ekonomické hodnocení efektivity investice projektu

Určené jednotlivé kritéria efektivity investice jsou uvedeny v tabulce č. 7, které byly vypočteny v softwaru MS Excel, tento soubor je dostupný na přiloženém CD (Ekonomika.xlsx). Kritéria diskontovaná doba návratnosti a NPV byly počítány s diskontní mírou 9 %. Doba životnosti projektu je uvažována 20 let.

Prostá doba návratnosti	7,3	let
Diskontovaná doba návratnosti	13	let
NPV	254 378	Kč
IRR	12 %	

Tab. 7.: Ekonomické hodnocení efektivnosti projektu s vlastní plynovou kotelnou

Z tabulky č. 7 je patrné, že projekt je zcela jistě také výhodný. Návratnost investice by se mělo dosáhnout v osmém roce. Při uvažované devíti procentní diskontní míře by se mělo dosáhnout doby návratnosti v třináctém roce, což je menší než uvažovaná doba životnosti projektu. Vnitřní výnosové procento je o 3 % vyšší než diskontní míra 9 %, z čehož vyplývá, že nám tento projekt přinese vyšší užitek o hodnotu 254 378 Kč (NPV).

Závěr

Tato diplomová práce se skládá ze dvou velkých částí, z teoretické a praktické. V teoretické části jsou popsány principy kombinované výroby elektrické energie a tepla, jednotlivé typy kogeneračních systémů, postupy návrhů systémů s kogeneračními jednotkami a jejich možný provoz apod.

V první praktické části je vytvořen samotný projekt umístění kogenerační jednotky ve vybraném průmyslovém objektu. Při návrhu byl dodržován fakt, aby veškerá tepelná energie byla spotřebována přímo v objektu, tedy aby pokrývala základní potřeby podniku. Nicméně to by pro pokrytí potřeb tepla nebylo dostačující, tudíž tepelný systém musí být doplněn o další typ zdroje tepla, v tomto případě o kondenzační plynový kotel. Vyrobená elektrická energie se bude pouze spotřebovávat přímo v daném objektu, nebude tedy prodávána do distribuční sítě. Elektrická energie nebude dostatečná pro potřeby podniku, nicméně bude přispívat k lepší energetické bilanci podniku, k určité vlastní soběstačnosti podniku a zcela jistě přispěje k návratnosti celé investice. Nicméně aby tento projekt byl z ekonomického hlediska výhodný, je nutné uvažovat současnou podporu kogeneračních jednotek ve formě zeleného bonusu, bez níž by nebyl návratný. Při uvažování podpory ve formě zelených bonusů by měl být projekt návratný v osmém roce, při uvažování diskontní míry 9 % je návratnost v roce sedmnáctém a vnitřní výnosové procento projektu vychází 10 %.

V druhé praktické části byl vytvořen paralelní možný návrh pro vytápění objektu, za použití pouze zdrojů tepla. Jako zdroj byl vybrán kaskádní kondenzační plynový kotel. Tento návrh by měl být návratný také v osmém roce, ale při uvažování také diskontní míry by měl být návratný v roce třináctém a vnitřní výnosové procento vychází 12 %. Tato varianta má také daleko menší provozní a hlavně investiční náklady, proto se na první pohled jeví jako daleko příznivější.

Obě varianty jsou z ekonomického hlediska výhodné, avšak jejich vyšší výhodnost je limitována vyšší kupní cenou zemní plynu, která je dána aktuální situací uvnitř průmyslového areálu a neexistence LDS, jak bylo částečně popsáno uvnitř diplomové práce.

Ekonomické hledisko by však v tomto případě nemělo být výchozím hlediskem. Oba projekty vedou k osamostatnění v oblasti tepla, ale návrh s kogeneračními jednotkami může vést také k určité samostatnosti z hlediska elektrické energie, neboť kogenerační jednotky mohou sloužit jako záložní zdroj elektrické energie, ale samozřejmě nedokáží napájet celou zátěž. Pro tuto možnost nasazení kogeneračních jednotek jako záložního zdroje elektrické energie by však musely být provedeny určité úpravy, jako například vyčlenění zátěže, kterou chceme a kterou lze z hlediska velikosti výkonu zálohovat, a také je nutná instalace nouzových chladičů, které by kogenerační jednotku dochlazovaly.

Přínosem instalace kogeneračních jednotek je zcela jistě snížení zátěže na životní prostředí díky vysoké účinnosti přeměny primárního paliva v porovnání s oddělenou výrobou elektrické a tepelné energie. Z tohoto důvodu by měla být instalace kogeneračních jednotek stále aktuální.

Použitá literatura

[1] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.

[2] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. Praha: GAS, 2007. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9

[3] DLOUHÝ, Tomáš. Kotelny a kogenerační jednotky [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U207/U2072/projektII.pdf>

[4] KARAFIÁT, Josef. SBORNÍK TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ ZDROJŮ S KOMBINOVANOU VÝROBOU ELEKTŘINY A TEPLA [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>

[5] *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>

[6] *Backer Elektro CZ* [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.backer-elektro.cz/>

[7] *Tedom* [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/>

[8] *OnSite Power* [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.onsite.cz/>

[9] *ERÚ: Cenové rozhodnutí 02 / 2017* [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/-/cenove-rozhodnuti-c-2-20-1>

[10] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-026-1.

Obrázky:

[11] [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.pe.cz/upload/Image/kvet.gif>

[12] *Kotelny a kogenerační jednotky* [online]. DLOUHÝ, Tomáš. s. 70 [cit. 2017-01-03] Dostupné z: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U207/U2072/projektII.pdf>

[13] *Kotelny a kogenerační jednotky* [online]. DLOUHÝ, Tomáš. s. 71 [cit. 2017-01-03] Dostupné z: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U207/U2072/projektII.pdf>

[14] *Kotelny a kogenerační jednotky* [online]. DLOUHÝ, Tomáš. s. 71 [cit. 2017-01-03] Dostupné z: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U207/U2072/projektII.pdf>

[15] [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z:

http://kogenerace.tedom.com/images/big/obr_721.jpg

[16] KARAFIÁT, Josef. SBORNÍK TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ ZDROJŮ S KOMBINOVANOU VÝROBOU ELEKTŘINY A TEPLA, s. 51 [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>

[17] KARAFIÁT, Josef. SBORNÍK TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ ZDROJŮ S KOMBINOVANOU VÝROBOU ELEKTŘINY A TEPLA, s. 53 [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>

[18] [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.thermona.cz/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle/pouze-pro-topeni/kotel-therm-90-kd-a>

[19] eru.cz [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/-/cenove-rozhodnuti-c-2-20-1>

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Katastrální situační schéma

Příloha č. 2 – Katalogový list TEDOM Cento T80

Příloha č. 3 – Rozměrový výkres TEDOM Cento T80

Příloha č. 4 – Technická data Thermona Therm 90 K.DA

Příloha č. 5 – Elektroinstalace – Liniové schéma

Příloha č. 6 – Elektroinstalace – Jednopolové schéma

